



Giovanni de Miranda Picco

**INTERPRETAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE CORPOS SEDIMENTARES NA BACIA
DO PARNAÍBA (ANDAR ALAGOAS)**

Trabalho de conclusão do curso de graduação
em Geologia, Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, como requisito necessário para obtenção
do grau de Geólogo.

Área de Concentração:

Estratigrafia e Geoestatística

Orientador:

Leonardo Borghi

Coorientador:

Bruno Araújo

Rio de Janeiro

2019

PICCO, Giovanni de Miranda

Interpretação da distribuição de corpos sedimentares na Bacia do Parnaíba (Andar Alagoas) /Giovanni de Miranda Picco - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2019.

xiii, 95f. : il.; 30cm.

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geociências, 2019.

Orientadores: Leonardo Borghi e Bruno Araújo.

1. Geologia 2. Estratigrafia e Geoestatística – Trabalho de Conclusão de Curso.
I. Leonardo Borghi e Bruno Araújo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Giovanni de Miranda Picco

**INTERPRETAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE CORPOS SEDIMENTARES NA BACIA
DO PARNAÍBA (ANDAR ALAGOAS)**

Trabalho de conclusão do curso de graduação
em Geologia, Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, como requisito necessário para obtenção
do grau de Geólogo.

Área de Concentração:

Estratigrafia e Geoestatística

Orientador:

Leonardo Borghi

Coorientador:

Bruno Araújo

Aprovada em: 19/07/2019

Por:

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)

Prof. Dr. Jorge de Jesus de Figueiredo Picanço (UFRJ)

Me. Marcelo da Silva Mendes (LAGESED)

UFRJ

Rio de Janeiro / 2019

Dedico esse trabalho à minha mãe Luzia de Fátima Toscano de Miranda Picco que sempre me apoiou nessa caminhada e aos meus amigos que eu conquistei durante o curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação Coppetec e a empresa Shell pela bolsa de estudos referente ao projeto de pesquisa que permitiu o desenvolvimento desse trabalho. Quero agradecer os meus dois orientadores, Leonardo Borghi e Bruno Araújo, por toda a paciência e conselhos durante essa etapa.

Agradeço especialmente a Filipa Gama (UFRJ) por me auxiliar no software Geosoft Oasis Montaj com seu conhecimento e ao CPGA (Centro de Pesquisa em Geofísica Aplicada) por disponibilizar uma licença me permitindo utilizar desse programa.

Agradeço a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) pela resposta imediata ao e-mail enviado para a solicitação dos dados técnicos disponíveis no BDEP (Banco de Dados de Exploração e Produção) providenciando os principais dados para esse trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED) pela estrutura e pelos profissionais que trabalham no Projeto Alagoas que me ajudaram no decorrer desse trabalho.

Agradeço muito aos meus amigos que estiveram ao meu lado no decorrer de toda a graduação, tanto do curso de Geologia quanto do BCMT, e me apoiaram tanto psicologicamente quanto durante as matérias pensando no meu bem e no meu aprendizado.

RESUMO

PICCO, Giovanni de Miranda. **Interpretação da distribuição de corpos sedimentares na Bacia do Parnaíba (Andar Alagoas)**. Rio de Janeiro, 2019, xiii, 95f. Trabalho final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

A Bacia do Parnaíba é uma das bacias interiores do Brasil localizada na região nordeste do país. Nesse trabalho, o alvo de estudo é o Período Cretáceo dessa bacia, no qual o andar Alagoas está inserido. O interesse no intervalo Alagoas nessa região existe graças à analogia e similaridade litológica entre os estratos na Bacia do Parnaíba com as unidades cronocorrelatas nas bacias existentes na margem continental brasileira representada pelo Pré-Sal. O andar Alagoas é registrado por 3 unidades geológicas distintas, sendo a Formação Corda composta por arenitos vermelhos associados à um ambiente desértico eólico, a Formação Grajaú composta por arenitos mais claros e folhelhos tratada como um ambiente lacustre e flúvio-deltaico e a Formação Codó composta por siltitos, gipsita/anidrita, arenitos, folhelhos e calcários de um ambiente lacustre e flúvio-deltaico. A disposição desses corpos sedimentares ainda não é totalmente compreendida, assim como o empilhamento dessas unidades. Logo, esse trabalho tem como objetivo executar uma correlação estratigráfica e um mapeamento estratigráfico em subsuperfície dentro do intervalo Alagoas por meio de perfis litológicos e perfis elétricos (perfil de raio gama) a fim de compreender a distribuição das unidades na Bacia do Parnaíba e promover interpretações geológicas a partir dos resultados obtidos. A metodologia baseou-se no uso de 43 perfis compostos disponibilizados pela ANP na região e 4 pela bibliografia, além dos softwares ArcGis 10.6, Geosoft Oasis Montaj e Corel Draw X6. Com o auxílio dos perfis compostos adquiridos, foram delimitados horizontes e intervalos estratigráficos por meio dos perfis litológicos criando mapas de contorno estrutural x isópacas para cada formação do intervalo Alagoas e para o intervalo salino, uma seção geológica do intervalo Alagoas, uma análise sobre a interdigitação entre as Formações Codó e Grajaú e uma modelagem das Formações Codó e Grajaú. Os mapas de contorno estrutural x isópacas, as análises sobre a interdigitação e a modelagem tiveram seus horizontes e intervalos estratigráficos definidos pela descrição dos geólogos dos poços nos perfis litológicos coletados pela ANP e pela bibliografia. A partir da seção geológica, foi feita uma seção estratigráfica com base na análise do perfil elétrico de raio gama dos poços resultando na criação de um *datum* estratigráfico, quatro eletro-horizontes de correlação e três eletro-intervalos. Com a criação dos mapas, da seção estratigráfica e da análise sobre a interdigitação das Formações Codó e Grajaú, foi possível realizar interpretações geológicas e compreender a distribuição da Formação Codó, Corda, Grajaú e o intervalo salino no intervalo Alagoas na área de estudo.

Palavras-chave: Horizontes Estratigráficos, Intervalos Estratigráficos, Perfis Compostos

ABSTRACT

PICCO, Giovanni de Miranda. **Interpretation of the distribution of sedimentary bodies in the Parnaíba Basin (Alagoas Stage)**. Rio de Janeiro, 2019, xiii, 95f. Final Work of Course (Geology) - Department of Geology, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The Parnaíba Basin is one of the inland basins of Brazil located in the northeast region of the country. In this work, the study target is the Cretaceous Period of this basin, in which the Alagoas Stage is inserted. The interest in the Alagoas Stage in this region exists due to the analogy and lithological similarity between the layers in the Parnaíba Basin and the chronocorrelate units in the basins in the Brazilian continental margin represented by the Pre-Sal interval. The Alagoas Stage is recorded by 3 distinct geological units, being the Corda Formation composed by red sandstone associated with a desert eolic environment, the Grajaú Formation composed by lighter sandstones and shales treated as a lacustrine and fluvio-deltaic environment and Codó Formation composed by siltstones, gypsite / anhydrite, sandstones, shales and limestones of a lacustrine and fluvio-deltaic environment. The arrangement of these sedimentary bodies is not yet fully understood, as well as the stacking of these units. Therefore, the objective of this work is to execute a stratigraphic correlation and a stratigraphic mapping in subsurface within the Alagoas Stage by means of lithological profiles and electric logs (gamma ray log) in order to understand the distribution of the units in the Parnaíba Basin and to promote interpretations from the results obtained. The methodology was based on the use of 43 logs available by the ANP in the region and 4 by the bibliography, besides the software *ArcGis 10.6*, *Geosoft Oasis Montaj* and *Corel Draw X6*. With the aid of the logs acquired, stratigraphic horizons and intervals were delimited by means of lithological profiles, creating isopic x structural contour maps for each formation in Alagoas Stage and for the salt interval, a geological section of the Alagoas Stage, an interdigitation analysis between the Codó and Grajaú Formations and a modeling of the Codó and Grajaú Formations. Isopic x structural contour maps, interdigitation analysis and modeling had their stratigraphic horizons and intervals defined by the description of the wells geologists in the lithological profiles collected by the ANP and the bibliography. From the geological section, a stratigraphic section was made based on the analysis of the gamma ray electric logs of the wells resulting in the creation of a stratigraphic datum, four electro-horizons of correlation and three electro-intervals. With the creation of the maps, the stratigraphic section and the analysis of the interdigitation of the Codó and Grajaú Formations, it was possible to realize geological interpretations and understand the distribution of the Codó, Corda, Grajaú Formation and the salt interval in the Alagoas Stage in the study area.

Keywords : Stratigraphic Horizons, Stratigraphic Intervals, Logs

Sumário

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de Figuras	viii
Lista de Quadros	xi
Lista de Tabelas	xii
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Apresentação	13
1.2 Objetivos e Finalidade	14
1.3 Material e Método	14
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	16
2.1 Generalidades	16
2.2 Embasamento	21
2.3 Padrão dos depocentros	21
2.4 Estratigrafia da bacia	22
2.5 Sedimentação cretácea	24
2.6 Rochas magmáticas associadas	26
2.7 Idade Alagoas	28
3. UNIDADES LITOLÓGICAS DO INTERVALO ALAGOAS	31
3.2 Formação Corda	31
3.3 Formação Grajaú	33
3.4 Formação Codó	34
3.4.1 Litoestratigrafia	34
3.4.2 Características sedimentológicas e paleoambientes	37
3.4.3 Paleontologia e idades	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 Perfis Compostos	44
4.1.1 Perfil Litológico	44

4.1.2 Perfil de Raio Gama	45
4.2 Materiais	46
4.2.1 Poços	46
4.2.2 Horizontes e intervalos estratigráficos	46
4.2.3 Profundidades do topo e da base das Formações Codó e Grajaú	47
4.2.4 <i>Softwares</i>	47
4.3 Métodos	48
4.3.1 Localização dos poços	48
4.3.2 Seção Geológica	50
4.3.2 Eletro-horizontes e eletro-intervalos de correlação	52
4.3.3 Métodos Geoestatísticos	53
4.3.4 Relação estratigráfica das formações Codó e Grajaú	54
4.3.5 Mapeamento estratigráfico	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1 Correlação Estratigráfica	58
5.1.1 Definição dos Eletro-horizontes	58
5.1.2 Definição dos Eletro-intervalos	59
5.1.3 Interpretação da seção estratigráfica	60
5.2 Relação estratigráfica entre as formações Codó e Grajaú	64
5.2.1 Modelagem 3D	64
5.3 Mapeamento Estratigráfico	68
5.3.1 Formação Codó	68
5.3.2 Formação Grajaú	71
5.3.4 Formação Corda	74
5.3.5 Evaporito no intervalo Alagoas	76
6. CONCLUSÃO	79
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE A = Tabela dos horizontes estratigráficos do topo e da base das Formações Codó, Grajaú, Corda e do Intervalo salino	85
APÊNDICE B = Tabela dos Intervalos Estratigráficos das Formações Codó, Grajaú, Corda e do Intervalo salino	88
APÊNDICE C = Tabela das Profundidades do topo e da base das Formações Codó e Grajaú	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Limites Geológicos da Bacia do Parnaíba (Schobbenhaus <i>et al.</i> , 1981)	18
Figura 2 - Distribuição dos principais elementos estruturais da bacia que definem os lineamentos Transbrasiliano, Picos-Santa Inês e Tocantins (Fortes, 1978).....	19
Figura 3 - Mapa destacando a sedimentação cretácea compartimentada à noroeste da Bacia do Parnaíba que alguns autores chamam de Bacia do Grajaú.	20
Figura 4 - Diagrama Cronoestratigráfico da Bacia do Parnaíba, com destaque para o andar local Alagoas (Vaz <i>et al.</i> , 2007)	27
Figura 5 - Relação entre a cronoestratigrafia internacional padrão com a cronoestratigrafia local e a distribuição dos elementos de datação definida por diferentes autores (Regali e Viana, 1988)	30
Figura 6 - A Formação Corda é a porção proximal de um sistema deposicional complementado, também, pelas formações Codó e Grajaú (Rezende, 2002).	32
Figura 7 - Mapa de isópacas da Formação Codó (Fernandes e Della Piazza, 1978).....	35
Figura 8 - Correlação de poços da Formação Codó, onde se observa uma subdivisão por sistema deposicionais de Campbell (Reis e Caputo, 2007).....	37
Figura 9 - Divisão da Formação Codó em Codó inferior e Codó superior (unidade indiferenciada) (esq.) e posicionamento estratigráfico da seção (direita) (Modificado por Barros, 2012 de Rossetti, 2003).....	38
Figura 10 - Reconstrução do paleoambiente da Formação Codó, sendo lacustre e dividido de três formas: Central (associação de fácies 1), transicional (associação de fácies 2) e marginal (associação de fácies 3) (Paz e Rossetti, 2001).....	39
Figura 11 - Correlação estratigráfica da seção aptiana da Bacia do Parnaíba (Mendes, 2007)	42

Figura 12 - Modelo da dinâmica sedimentar após a instalação do "Golfo Codó" e posterior restrição ambiental. A elevação do nível de base permitiu a formação de um golfo, onde teria predominado a sedimentação marinha. A redução do nível de base teria permitido a restrição do ambiente de sedimentação, proporcionando a diluição da matéria orgânica marinha com a entrada do aporte fluviodeltaico. O clima semi-árido, associado à restrição ambiental, permitiu a precipitação dos evaporitos (Bastos et al., 2014)..... 43

Figura 13 - Mapa com a localização dos poços exploratórios no sistema de coordenadas geográficas utilizando o datum SIRGAS 2000 49

Figura 14 – Mapa de localização dos poços utilizados na seção geológica.....50

Figura 15 - Seção Geológica dos Poços 1-OGX-59-MA, 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA. 51

Figura 16 - Correlação estratigráfica dos poços 1-OGX-59-MA, 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA através dos perfis elétricos de raio gama 63

Figura 17- Observação do Bloco 3D nas direções XZY. O Norte corresponde ao eixo Y. 65

Figura 18- Observação do Bloco 3D nas direções YZX. O Norte corresponde ao eixo Y. 66

Figura 19- Observação do Bloco 3D nas direções YZX. O Norte corresponde ao eixo Y. 67

Figura 20 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da Formação Codó estão representadas pela escala de cores, as curvas de nível representando as isópacas das espessuras dessa unidade, a linha amarela associada à cota 0 e a linha marrom indicando o limite da Bacia do Parnaíba. Os círculos em preto indicam os altos estruturais detectados.70

Figura 21 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da Formação Grajaú estão representadas pela escala de cores, as curvas de nível representando as isópacas das espessuras dessa unidade, a linha amarela associada à cota 0 e a linha marrom indicando o limite da Bacia do Parnaíba. Os círculos pretos correspondem aos poços mencionados no texto..... 73

Figura 22 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da Formação Corda estão representadas pela escala de cores, as curvas de nível representando as isópacas das espessuras da unidade e a linha marrom indicando o limite da Bacia do Parnaíba. 75

Figura 23 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da gipsita estão representadas pela escala de cores e as curvas de nível representando as isópacas das espessuras desse intervalo salino. Os círculos pretos correspondem aos poços mencionados no texto e a linha amarela representa a cota 0 do evaporito.78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Associação das Supersequências com os Grupos	24
Quadro 2- Associação dos andares locais com as idades de acordo com Petri <i>et al.</i> , (1986).	29
Quadro 3 - Resumo das sucessões de fácies interpretadas na Formação Grajaú (Mendes, 2007)	34
Quadro 4 - Resumo das sucessões de fácies interpretadas na Formação Codó (Mendes, 2007)	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela com os eletro-intervalos do poço 1-OGX-59-MA. 59

Tabela 2- Tabela com os eletro-intervalos do poço 1-OGX-107-MA. 60

Tabela 3- Tabela com os eletro-intervalos do poço 4-OGX-91D-MA. 60

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A bacia do Parnaíba está localizada na região Nordeste do Brasil, abrangendo os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Pará e uma pequena porção dos estados do Ceará e da Bahia. Ela é classificada como uma bacia do tipo I (de interior cratônico) de acordo com a classificação de Klemme (1980). Sua deposição começa no período Cambriano (Era Paleozóica) em um estado de estabilização da plataforma Sul-Americana (Almeida e Carneiro, 2004) resultando na subsidência inicial da bacia devido ao peso da coluna sedimentar acima da crosta dado por deformações e eventos térmicos fini- e pós-orogênicos do ciclo Brasileiro, na qual estruturas grabeniformes interpretadas com base na sísmica, gravimetria e magnetometria controlaram o depocentro inicial dessa bacia.

Durante o Cretáceo, devido ao processo de rifteamento do Gondwana e abertura do oceano Atlântico, os depocentros foram deslocados da região central para as proximidades do extremo norte e noroeste da bacia. As unidades que foram depositadas durante esse processo de rifteamento do Gondwana, anterior a ingressão marinha, na Bacia do Parnaíba são as Formações Codó, Grajaú e Corda segundo Rezende (2002), sendo ambas associadas ao andar local Alagoas. Lima e Leite (1978) identificaram uma interdigitação ou equivalência cronoestratigráfica da Formação Codó (Lisboa, 1914) representados por folhelhos, calcários, siltitos, gipsita/anidrita e arenitos como principais litotipos, sendo ainda frequente os níveis de sílica e estromatólito no intervalo Neoaptiano-Eoalbio com a

Formação Grajaú (Lisboa, 1914), que por sua vez é representada por arenitos claros e folhelhos. Entretanto, a disposição dos corpos sedimentares do intervalo Alagoas ainda não é totalmente compreendida, assim como o empilhamento das unidades.

1.2 Objetivos e Finalidade

Esse trabalho busca fazer uma correlação estratigráfica das rochas do intervalo Alagoas e um mapeamento estratigráfico (mapas de contorno estrutural e isópacas) das formações Codó, Corda, Grajaú e do intervalo salino (gipsita) para compreender e interpretar a distribuição desses estratos através dos dados obtidos. Além disso, certificar se existe a relação de interdigitação das formações Codó e Grajaú dita por Lima e Leite (1978).

Como finalidade, esse estudo sugere uma análise geológica individual e integrada dos mapas e da seção estratigráfica em associação com a relação estratigráfica das Formações Codó e Grajaú no intervalo Alagoas dentro da região estudada na Bacia do Parnaíba.

1.3 Material e Método

Para a execução desse trabalho, foi proposta uma abordagem estratigráfica utilizando os dados dos perfis litológicos e perfis elétricos (perfis de raios gama) dos 44 poços adquiridos da ANP (Agência Nacional do Petróleo), através do BDEP (Banco de Dados de Exploração e Produção), e de 4 poços da bibliografia a fim de observar os horizontes e intervalos estratigráficos das Formações Codó, Corda, Grajaú e o intervalo salino no andar Alagoas marcados na descrição dos poços e as profundidades de topo e da base de cada poço onde há a ocorrência das Formações Codó e Grajaú. Além disso, foram

usados os softwares *Arc Gis 10.6*, *Geosoft Oasis Montaj* e *Corel Drawn X6* para a realização dos mapas, correlação estratigráfica e análises estratigráficas. No software *Arc Gis 10.6*, os poços adquiridos foram plotados em um mapa de localização com sistema de coordenadas geográficas e *datum* SIRGAS 2000. Em seguida, três metodologias foram abordadas.

A partir dos poços plotados no mapa de localização foram escolhidos os poços 1-OGX-59-MA, 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA por estarem com orientação NW-SE, estando de acordo com o mergulho (*dip*) da Formação Codó (unidade característica do Intervalo Alagoas) para a confecção de uma seção geológica. Com isso, a partir dos perfis elétricos de raio gama delimitaram-se eletro-horizontes e eletro-intervalos de correlação no intervalo Alagoas, além do estabelecimento de um *datum* estratigráfico para a montagem e a correlação em uma seção estratigráfica no *software Corel Drawn X6*. Para a relação estratigráfica entre as Formações Codó e Grajaú, a tabela das profundidades do topo e da base dessas unidades foi importada para o *software Geosoft Oasis Montaj* onde houve uma transformação do sistema de coordenadas geográficas para projetadas em UTM/ zona 23S e, em seguida, essas tabelas foram convertidas em superfícies por meio do método geoestatístico de Mínima Curvatura. Essas superfícies possuíam um conjunto de linhas com pontos que apresentavam coordenadas e valores para as profundidades do topo e da base das Formações Codó e Grajaú. Com as linhas constando coordenadas sincronizadas para as duas unidades, foi avaliado o ângulo que essas linhas possuíam (correspondente aos mergulhos dos topos e das bases das Formações Codó e Grajaú) no qual, caso os ângulos entre as unidades se interceptassem isso poderia ser associado à uma relação de

interdigitação entre as Formações Codó e Grajaú. Também foi feito uma análise 3D dessas superfícies para uma melhor visualização da relação estratigráfica.

Por último, no *software ArcGis 10.6* a tabela dos horizontes e intervalos estratigráficos das unidades do Intervalo Alagoas e do intervalo salino foram convertidas para a forma de mapas de contorno estrutural e isópacas através do método geoestatístico da Krigagem Ordinária Esférica, onde a variável do topo estratigráfico de cada formação e intervalo salino foi usado para a confecção do mapa de contorno estrutural e a variável da espessura de cada formação e do intervalo salino foi usado para a criação do mapa de espessuras, no qual, posteriormente, foi representado sob a forma de isolinhas gerando mapas de isópacas para cada unidade do Intervalo Alagoas e do intervalo salino.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Generalidades

A bacia do Parnaíba ocupa uma área de 600.000 km² e sua sucessão sedimentar apresenta 3,5 km de espessura na sua parte mais espessa. Os limites da bacia são controlados por altos estruturais, sendo ao norte pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, que a separa das bacias costeiras de São Luís e Barreirinhas; ao sul pelo arco do Médio São

Francisco, separando-a da bacia Sanfranciscana; e a noroeste, pelo Arco de Tocantins, separando-a das bacias de Marajó e Amazonas (Mendes, 2007) como se observa na Figura 1. Além disso, observa-se três feições morfo-estruturais muito importantes na bacia caracterizados pelos lineamentos Picos-Santa Inês, Marajó-Parnaíba e a Zona de Falha Transbrasiliana, sendo a última a mais proeminente, atravessando toda sua porção nordeste e sul-sudeste como é observado na Figura 2 (Vaz *et al.*, 2007).

Morfológicamente, a bacia é caracterizada por uma forma hexagonal regular, com o eixo maior orientado NE-SW evidenciado por falhamentos, flexuras e lineamentos, no qual permitiu a geração de um mosaico de blocos escalonados que são os elementos estruturais que, condicionaram a forma da bacia e a distribuição dos eixos deposicionais e dos estratos (Góes *et al.*, 1990)

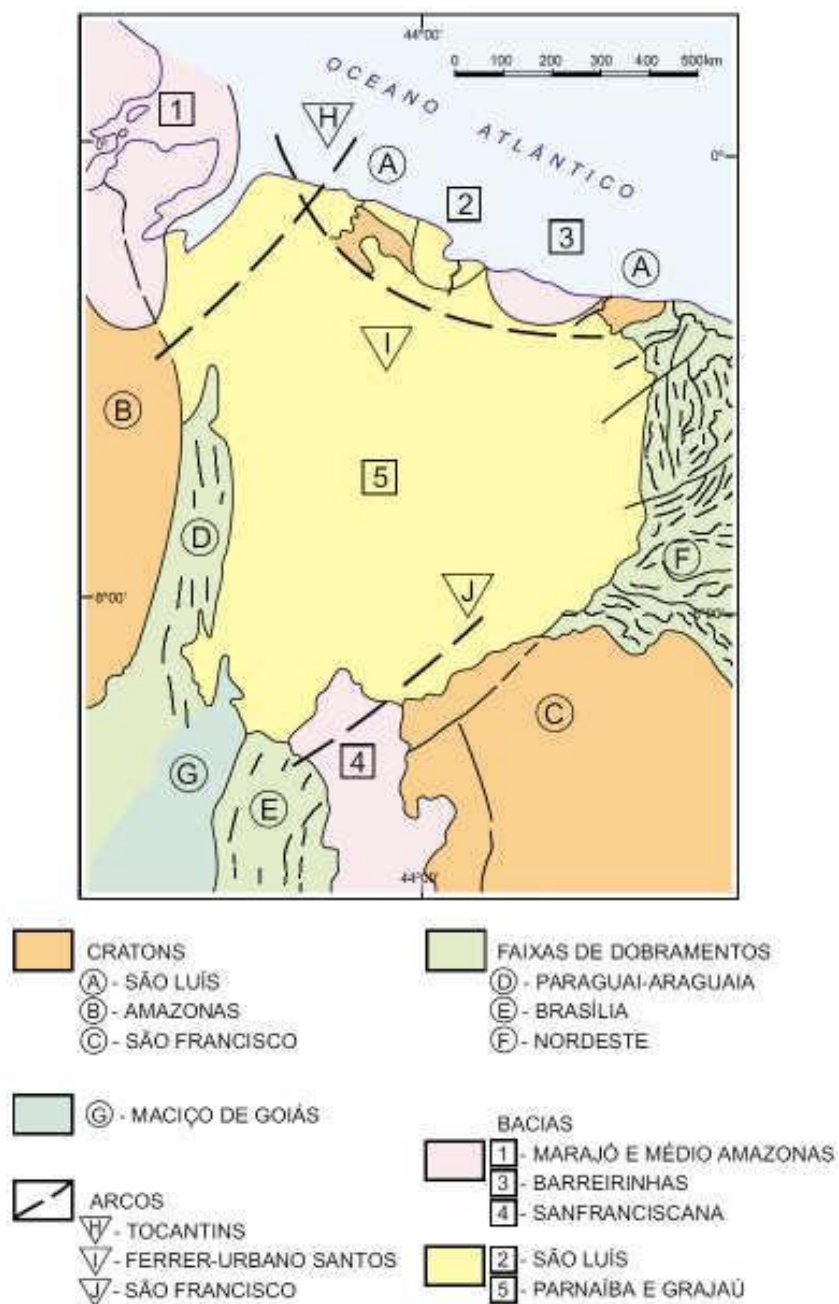
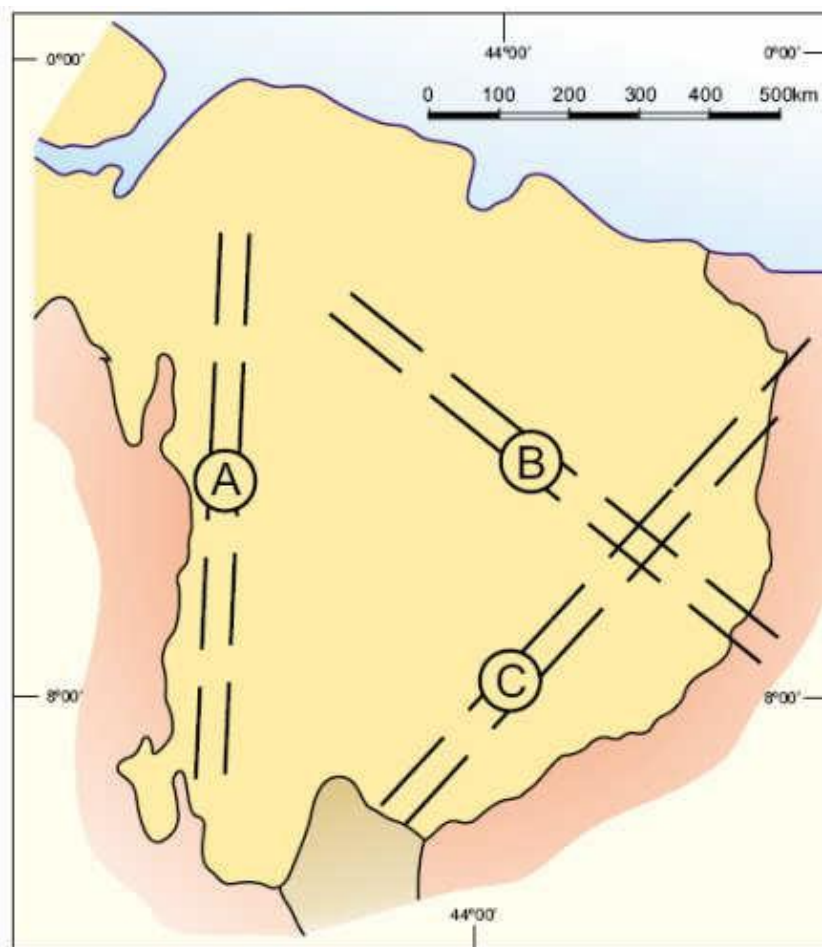


Figura 1 - Limites Geológicos da Bacia do Parnaíba (Schobbenhaus *et al.*, 1981)



A- Lineamento Tocantins-Araguaia B-Lineamento Picos-Santa Inês
C- Lineamento Transbrasiliano

Figura 2 - Distribuição dos principais elementos estruturais da bacia que definem os lineamentos Transbrasiliano, Picos-Santa Inês e Tocantins (Fortes, 1978)

O registro do Cretáceo na bacia do Parnaíba possui a especificidade de se apresentar compartimentado a norte e a noroeste (Resende & Pamplona, 1970; Lima & Leite, 1978, Petri, 1983). Esta área, inicialmente foi referida como uma bacia à parte por Resende & Pamplona (1970), chamada de “Bacia Epicontinental do Maranhão”. Posteriormente, o termo “Bacia do Codó” se tornou usual, para o registro regional do Aptiano, envolvendo as

formações Grajaú e Codó (Azevedo, 1991), sendo que, mais recentemente, foi renomeada como Bacia do Grajaú (Góes, 1995; Góes & Coimbra, 1996), limitada pelo arco Ferrer-Urbano Santos (a norte), pela antéclise Xambioá-Alto Parnaíba (à Sul), pelo arco Capim (à oeste), e pelo lineamento do rio Parnaíba (à leste). A Figura 3 representa os afloramentos do Cretáceo na Bacia do Grajaú, compartimentando essas unidades à noroeste da Bacia do Parnaíba.



Figura 3- Mapa destacando a sedimentação cretácea compartimentada à noroeste da Bacia do Parnaíba que alguns autores chamam de Bacia do Grajaú.

2.2 Embasamento

O embasamento da Bacia do Parnaíba é constituído, em grande parte, por rochas metamórficas oriundas de diversos processos tectonomagmáticos realizados no Proterozóico, sendo não mais antigos que o Mesoproterozóico (Mendes, 2007). De acordo com a Figura 1, contém partes do cráton de São Luís, a norte; cráton do Amazonas, a oeste; faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia, à oeste/sudoeste; maciço de Goiás, à sudoeste; cráton de São Francisco, sudeste; faixa de dobramentos Brasília, ao sul e parte da faixa de dobramentos Nordeste, à leste. Pertencente ao embasamento, ainda encontra-se a Formação Riachão de idade proterozóica média ou final composta por grauvacas, arcósios, siltitos, folhelhos vermelhos e ignimbritos. Além disso, há também o Grupo Jaibaras composto por rochas associadas à depósitos fluviais, aluviais e lacustres, aflorante somente na porção leste-nordeste da bacia podendo ser correlacionado em subsuperfície preenchendo calhas grábenformes evidenciadas por dados geofísicos e ainda não amostrados por poços. A idade deste grupo pode ser estimada entre os períodos Cambriano-Ordoviciano que registra as atividades finais do Ciclo Brasileiro (Oliveira e Mohriak, 2003).

2.3 Padrão dos depocentros

A bacia do Parnaíba iniciou sua deposição através do espaço de acomodação criado durante o estado de estabilização da plataforma-sul americana (Almeida e Carneiro, 2004). Por correlação com os litotipos existentes nas faixas de dobramento, maciços medianos e entidades tectônicas complexas situadas nas proximidades da bacia pode-se deduzir que o substrato da bacia é composto de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, com idades

variando do Arqueano até o Ordoviciano, porém com predominância de rochas do Neoproterozóico e Cambriano (Vaz *et al.* 2007). Simultaneamente à deposição dessas rochas, ocorre a subsidência inicial da bacia com a existência de processos deformacionais e eventos térmicos fini- e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro (Almeida e Carneiro, 2004). A morfologia do embasamento da bacia se dá por estruturas grabeniformes, identificadas através da sísmica, gravimetria e magnetometria, que controlaram o depocentro inicial da bacia segundo Oliveira e Mohriak (2003).

As feições morfológicas mais significativas do embasamento representaram não somente a fase inicial da bacia, mas também a sua evolução, condicionando as direções dos eixos deposicionais até o Eocarbonífero (Vaz *et al.*, 2007).

A partir do Neocarbonífero até o Jurássico, os depocentros foram deslocados para a região central da bacia, resultando em um padrão concêntrico de sedimentação e a forma externa da bacia tornou-se ovalada, típica de bacias rasas e extensas do tipo sinéclise. Além disso, foram acrescentados blocos falhados de pequenos rejeitos, dobras e outras estruturas resultantes da intrusão de corpos ígneos mesozoicos (Formações Mosquito e Sardinha) nas camadas sedimentares mais antigas, formando o panorama estrutural principal dessa bacia (Vaz *et al.*, 2007).

2.4 Estratigrafia da bacia

Acima do embasamento proterozóico, da Formação Riachão e do Grupo Jaibaras da bacia, detecta-se uma sucessão de rochas sedimentares e magmáticas que podem ser dispostas em cinco sequências deposicionais de segunda ordem ou supersequências:

Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea; delimitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia ou abrangem regiões extensas (Soares *et al.*, 1978). No Quadro 1 as supersequências estão associadas aos grupos que foram depositados nos respectivos períodos e a referência de cada uma delas, com exceção da sedimentação cretácea que será tratada no tópico seguinte. Tendo em vista a plataforma sul-americana, as três primeiras supersequências situam-se na fase de estabilidade e as discordâncias, na qual foram apontadas, têm suas gêneses associadas às flutuações dos elevados níveis eustáticos dos mares epicontinentais do Eopaleozóico (Vaz *et al.*, 2007). As transgressões derivaram do oceano adjacente à margem ativa do sudoeste do Gondwana e de bacias do norte atual da África, inundadas pelo Oceano Tethys (Vaz *et al.*, 2007). Já as regressões e discordâncias erosivas teriam contribuições de ascensões epirogênicas, em resposta às orogêneses ocorridas na borda ativa do Gondwana adjacente à plataforma (Vaz *et al.*, 2007). Ademais a forma ou configuração do registro sedimentar teve auxílio também da subsidência causada por estiramento litosférico, sobrecarga representada pelos depósitos que nelas se acumulavam e outros processos da dinâmica continental. Desta forma, as ascensões eustáticas só em parte respondem pelas sucessivas inundações do mar no Brasil durante o Fanerozóico (Almeida e Carneiro, 2004). Caputo *et al.*, (2006) expôs argumentos relacionados que tratam das posições geográficas dos principais eventos orogênicos mundiais e da superioridade dos efeitos das flutuações do nível do mar (podendo variar até centenas de metros num intervalo de tempo curto) comparando com as taxas de subsidência ou de movimentos ascendentes verificados no substrato dessa sinéclise. Tendo em vista as condições tanto orogenéticas quanto eustáticas, percebe-se que o fator primordial no controle desses ciclos transgressivos-regressivos foi a eustasia como dito por

Almeida e Carneiro (2004), que contribuiu na formação de discordâncias que definem os limites das supersequências da Bacia do Parnaíba (Vaz *et al.*, 2007).

Quadro 1- Associação das Supersequências com os Grupos

Supersequência	Grupo	Referência
Siluriana	Grupo Serra Grande	Caputo e Lima (1984)
Mesodevoniana-Eocarbonífera	Grupo Canindé	Góes <i>et al.</i> (1992) <i>apud</i> Góes e Feijó (1994)
Neocarbonífera-Eotriássica	Grupo Balsas	Góes <i>et al.</i> (1992) <i>apud</i> Góes e Feijó (1994)
Jurássica	Grupo Mearim	Vaz <i>et al.</i> (2007)

2.5 Sedimentação cretácea

Durante o Cretáceo, devido ao processo de rifteamento do Gondwana e abertura do oceano Atlântico, os depocentros foram deslocados da região central para as proximidades do extremo norte e noroeste da bacia, graças aos esforços de ruptura da margem equatorial brasileira no Neocomiano. Como consequência, uma rápida transgressão seguida da retirada definitiva do mar foi proporcionada, devido a subsidência imposta pelo processo de rifteamento da margem continental, permitindo características exclusivamente continentais para os sedimentos posteriores a esse evento (Mendes, 2007).

Logo, diferente das sequências anteriores, os depósitos marinhos cretáceos associados as transgressões e regressões foram derivados do Oceano Atlântico que estava

em seu estágio inicial de desenvolvimento (Rossetti *et al.*, 2001). Afloramentos dessa sequência são observados principalmente na porção noroeste e norte da bacia sobrepondo discordantemente sobre as rochas das sequências anteriormente depositadas (Vaz *et al.*, 2007). Essa sedimentação cretácea é constituída pela Formação Corda (Lisboa, 1914), Formação Grajaú (Lisboa, 1914), Formação Codó (Lisboa, 1914) e Formação Itapecuru (Campbell, 1949), respectivamente.

Associada a um sistema deposicional ocorreu a deposição dos arenitos vermelhos da Formação Corda com uma seleção regular a boa, ricos em óxidos de ferro e zeólitas. Essa unidade apresenta estratificações cruzadas de grande porte, *climbings* transladantes e *ripples*, fluxos de grãos e outras estruturas típicas de dunas eólicas, assim como estruturas cruzadas de baixo e grande porte. Por essas informações, deduz que essa formação foi depositada em um sistema desértico (Vaz *et al.*, 2007).

Em uma relação de contemporaneidade com a Formação Codó e Formação Corda defendido por Rezende (2002) evidencia-se os depósitos da Formação Grajaú correspondentes à arenitos creme-claros esbranquiçados, mal selecionados com abundantes estruturas cruzadas acanaladas e marcas de carga sendo associado à ambientes lacustres e flúvio-deltaicos. Além disso, Lima e Leite (1978) identificaram uma interdigitação ou equivalência cronoestratigráfica com a Formação Codó representados por folhelhos, calcários, siltitos, gipsita/anidrita e arenitos como principais litotipos de um ambiente lacustre e flúvio-deltaico no intervalo cronoestratigráfico correspondente ao andar local Alagoas.

Sobrepondo discordantemente (Rossetti *et al.*, 2001) às formações Codó e Grajaú constata-se a Formação Itapecuru (Campbell, 1949) constituído de arenitos e argilitos

avermelhados associados à um sistema de vales estuarinos incisos com estruturas associadas à ondas de tempestade como estratificações cruzadas do tipo *hummocky* e *swaley* em um ambiente de canal fluvial, laguna, canal de maré e litorâneo (Vaz *et al.*, 2007) com uma idade mesoalbianana-neocretácea (Rossetti *et al.*, 2001). Essa unidade já apresenta evidências fósseis que relatam a ingressão marinha do Oceano Atlântico.

2.6 Rochas magmáticas associadas

Com a ruptura do supercontinente Pangea se estabeleceu na plataforma sul-americana e, principalmente, no território brasileiro a fase de ativação que levaria não só a sedimentação das formações Corda, Grajaú e Codó mas também a intensificação de atividades magmáticas aonde rochas ígneas intrusivas e extrusivas foram acomodadas nessa bacia, sendo divididas, no ponto de vista estratigráfico, em 2 unidades: Formação Mosquito e Formação Sardinha (Aguiar, 1971), sendo ambas compostas por basaltos pretos amigdaloidais. Porém, segundo Mocitaiba *et al.* (2017), essas 2 unidades diferem em relação à sua natureza química e isotópica, forma de ocorrência na superfície (predominância de grandes diques e pequenas soleiras na Formação Sardinha e grandes derrames e soleiras na Formação Mosquito) além de suas localizações dentro da bacia. Alguns autores, como por exemplo, Mizusaki e Thomaz Filho (2004) e Zalán (2004) ainda defendem a existência de correlações da Formação Mosquito com as soleiras de diabásio das bacias do Solimões e do Amazonas associados ao Magmatismo Penatecaua ocorrido na região norte do Brasil de idade entre 210 e 201 milhões de anos. Afirmam também que as rochas básicas da Formação Sardinha seriam correlatas aos derrames da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná de idades entre 137 a 127 milhões de anos.

2.7 Idade Alagoas

Devido à ausência de fósseis marinhos nas bacias continentais brasileiras, o posicionamento do pacote sedimentar neojurássico-eocretáceo, em relação à escala cronoestratigráfica internacional, foi inviabilizado devido à um problema de correlação intercontinental.

Sendo assim, estudos efetuados durante as revisões estratigráficas das bacias de Sergipe/Alagoas (Schaller, 1969) e Recôncavo/Tucano (Viana *et al.*, 1971) permitiram estabelecer unidades cronoestratigráficas locais (andares Dom João, Rio da Serra, Aratu, Buracica, Jiquiá e Alagoas), para os sedimentos continentais (Neojurássico-Eocretáceo) brasileiros, baseadas, principalmente, na sequência bioestratigráfica dos ostracodes não marinhos.

Mesmo antes e depois da definição desses andares, alguns autores tentaram posicionar esse pacote na escala internacional, baseados apenas em critérios interpretativos de correlação, na ausência de elementos seguros de datação. De maneira geral, os autores que abordam o tema aceitam a idade neojurássica para o Andar Dom João e admitem para o Andar Alagoas, ainda que parcialmente, a idade Aptiana, devido a sua posição estratigráfica (Viana, 1980) e pela presença da seção evaporítica.

Regali (1967), em um estudo na bacia do Espírito Santo, detecta as antigas palizonas II inferior e III superior (Andar Alagoas) e inicialmente posiciona esse andar local no Aptiano. Posteriormente, Lima e Boltenhagem (1981) registraram que, no Brasil, o Barremiano “é caracterizado por Regali *et al.* (1974) por meio das zonas palinológicas

correspondentes ao andar Jiquiá e à base do andar Alagoas “, embora essa caracterização não esteja relatada no trabalho citado, e que “ o Andar Alagoas é representado por 6 zonas palinológicas, dentre as quais, as centrais representariam o Aptiano”.

Ojeda (1982) classificou a fase “Rifte” das bacias marginais como Neocomiano a Barremiano e datou os ciclos evaporíticos da Bacia de Alagoas, dividindo em Eoaptiano e Neoaptiano. Lima (1983) apontou os sedimentos aptianos como pertencentes à parte superior do Andar Alagoas. Viana (1986) datou três ingressões marinhas na calha afro-brasileira (Neobarremiano, Eoaptiano e Neoaptiano) usando critérios bioestratigráficos.

O Guia de Nomenclatura (Petri *et al.*, 1986), posteriormente, foi elaborado, baseado nas informações disponíveis pela Comissão Especial de Nomenclatura Estratigráfica, estabelecendo, para os andares locais, as seguintes possíveis correspondências na coluna padrão mundial (Quadro 2):

Quadro 2- Associação dos andares locais com as idades de acordo com Petri *et al.*, (1986).

ANDAR LOCAL	IDADE
Andar Alagoas	Neoaptiano
Andar Jiquiá	Eoaptiano-Neobarremiano
Andar Buracica	Eobarremiano
Andar Aratu	Hauteriviano-Neovalanginiano
Andar Rio da Serra	Eovalanginiano-Berriasiano
Andar Dom João	Portlandiano (Neojurássico)

3. UNIDADES LITOLÓGICAS DO INTERVALO ALAGOAS

3.2 Formação Corda

Trata-se de um conjunto de depósitos eólicos, fluviais e lacustres que se desenvolveu na porção oeste da bacia, sobre o último derrame basáltico ocorrido. Após o magmatismo, as condições desérticas ainda persistiam e, sobre os basaltos, extensos campos de dunas eólicas se desenvolveram, porém com uma proliferação de depósitos fluviais e lacustres, caracterizando uma maior disponibilidade de água no sistema sedimentar, ao comparar com a época de deposição da Formação Sambaíba. Uma quantidade bastante expressiva de fragmentos de basaltos nos arenitos da Formação Corda demonstra que essas rochas vulcânicas também serviram de área fonte para essa unidade (Vaz *et al.*, 2007).

Tal sequência está bem representada na rodovia BR-010 / Belém-Brasília, entre Porto Franco e Imperatriz – MA. Uma correlação entre os padrões observados na faixa de afloramento e nos perfis de poços perfurados pela Petrobrás permitiu a montagem de um quadro sugestivo de que a Formação Corda componha a porção proximal de um amplo sistema sedimentar, em conjunto, com as formações Codó e Grajaú, conforme esquematizado na Figura 6. A Formação Corda representaria a primeira fase de assoreamento do segmento crustal que iniciava seu embaciamento na parte norte da Bacia do Parnaíba, denominado recentemente de Bacia do Grajaú (Góes, 1995; Góes e Coimbra, 1996), ou Bacia de São Luís-Grajaú (Góes e Rossetti, 2001). Predominantemente a

Formação Corda é formada por arenitos, tendo argilitos e folhelhos ocorrendo subordinadamente.

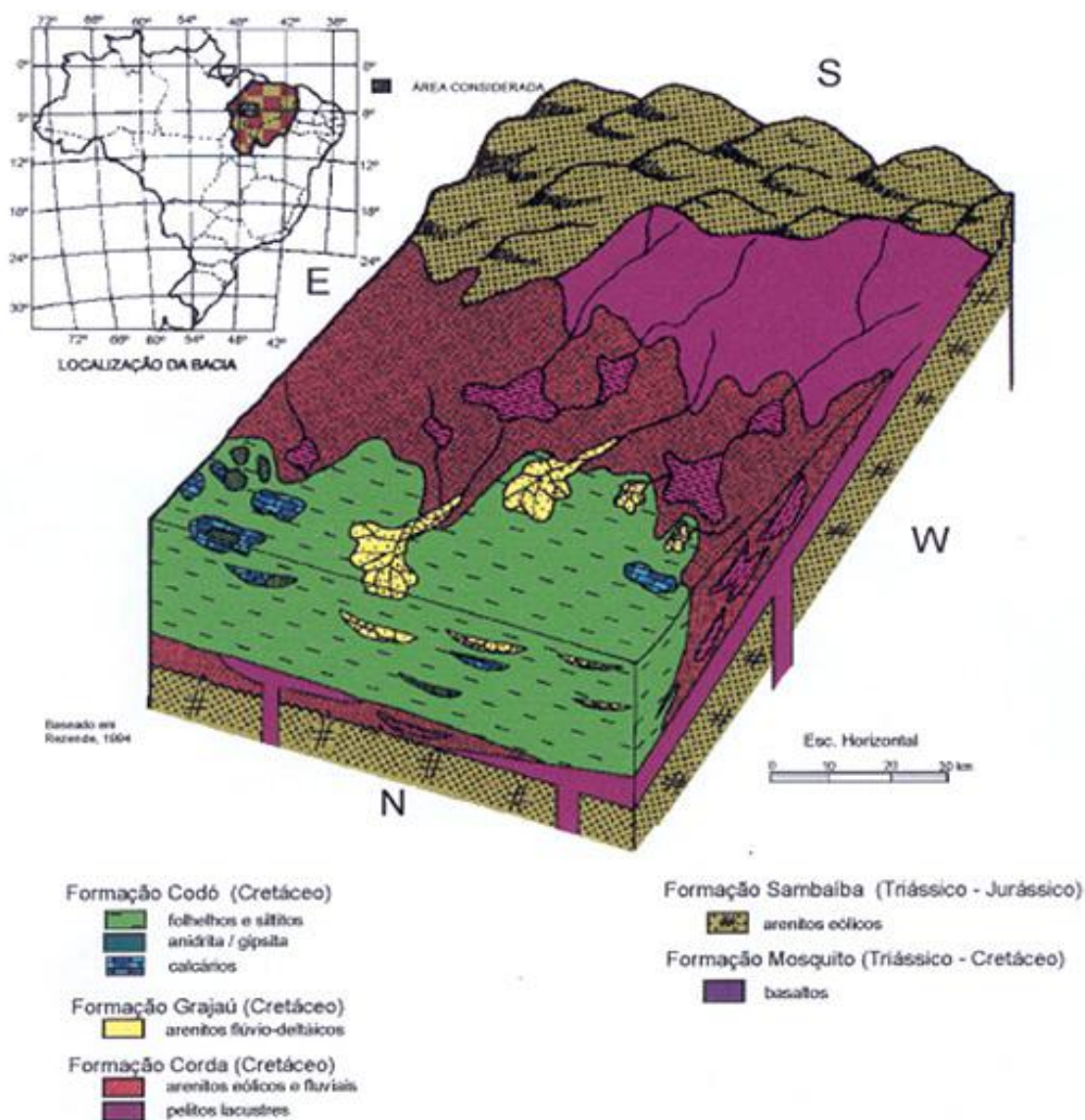


Figura 6 - A Formação Corda é a porção proximal de um sistema deposicional complementado, também, pelas formações Codó e Grajaú (Rezende, 2002).

3.3 Formação Grajaú

Como apontado anteriormente, os arenitos (Formação Grajaú) que afloram no Município de Codó (MA), foram referidos inicialmente por Lisboa (1914), e denominados da Formação Codó incluindo os arenitos anteriormente denominados Grajaú.

Aguiar (1969) fez com que os arenitos Grajaú se elevassem à categoria de formação, possuindo idade semelhante à da Formação Codó porém com uma variação lateral de fácies de acordo com Cunha e Carneiro (1972).

Carneiro (1974) definiu a Formação Grajaú como arenitos com intercalações de argilitos vermelhos. Lovato *et al.* (1994) descrevem os arenitos da Formação Grajaú como de cor creme-claro, granulometria fina a média, quartzosos bimodais, arredondados exibindo estratificação cruzada acanalada de pequeno e grande porte e estratificações plano-paralela, de ambiente eólicos.

Carneiro (1974) e Lima e Leite (1978) apontaram que as Formações Codó e Grajaú são interdigitadas. Em diversos locais, o contato inferior da Formação Codó com a Formação Grajaú foi considerado concordante com discordâncias locais.

Goes e Feijó (1994) consideram as formações Grajaú, Codó e Itapecuru em uma mesma sequência deposicional. Este sistema jaz discordantemente sobre as unidades jurássicas, triássicas, paleozoicas e rochas pré-cambrianas no extremo noroeste do Arco Ferrer-Urbano Santos. Posteriormente, as formações Grajaú, Codó e Corda foram

associadas em um mesmo sistema deposicional como visto na Figura 6 e a Formação Itaipuru sobrepondo discordantemente essas unidades (Rossetti *et al.*, 2001).

Mendes (2007) através de um estudo de caracterização faciológico das formações Grajaú e Codó, determinou, para a Formação Grajaú quatro sucessões de fácies (SF-C, SF-PL, SF-D e SF-L) representadas no Quadro 3. Nas quais duas (SF-C e SF-PL) sofreram uma ação intensa de atividade biológica obliterando algumas estruturas de suas fácies.

Quadro 3 - Resumo das sucessões de fácies interpretadas na Formação Grajaú (Mendes, 2007).

CÓDIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
SF-C	Sucessão de fácies Ac-C-Ab-Aox em ciclos de afinamento granulométrico.	Representa a implantação de um sistema fluvial meandrante, em ambiente oxidante/redutor e intensa atividade biológica, principalmente no topo da formação.
SF-PL	Sucessão autoreflexiva de camadas da fácies Ag.	Deposição por decantação e tração em planície de inundação, em ambiente oxidante e intensa atividade biológica.
SF-D	Sucessão de fácies Fp-Ac-C-Aox-Ac(c) em ciclos de engrossamento granulométrico.	Passagem de um sistema lacustre de fina lâmina d'água (fácies Fp) para um deltaico (fácies Ac, C, Aox e Ac(c)) com o aumento da espessura das camadas.
SF-L	Sucessão autoreflexiva de camadas da fácies Fp.	Representa a primeira tentativa de implantação de um sistema lacustre redutor de lâmina d'água rasa.

3.4 Formação Codó

3.4.1 Litoestratigrafia

A Formação Codó exibe uma distribuição total de 170.000 km², possuindo mergulho regional para norte, de maneira que aponta uma extensa faixa de afloramentos mais ao sul (Fernandes & Della Piazza, 1978; Reis e Caputo, 2007). De acordo com

Inicialmente, a Formação Codó foi identificada por Lisboa (1914) como sendo composta por “Carbonatos e folhelhos betuminosos e a existência de duas sequências deposicionais separadas por uma descontinuidade”. Mesner e Woolridge (1962) subdividem a Formação Codó em três membros, nos quais, em um trabalho feito por Fernandes e Piazza (1978) através da correlação de poços e da análise sedimentológica de Mesner e Woolridge (1962) são estabelecidos ambientes e sistemas deposicionais. A partir disso, foi determinado para o membro inferior um ambiente lagunar de águas rasas, na qual a parte inferior se trata de uma fase transgressiva que em uma estreita conexão com o mar terminou, na parte superior, em um período regressivo, que em condições climáticas áridas, ocasionou a precipitação das camadas de evaporito (Fernandes e Piazza, 1978). Na parte média registra uma nova transgressão terminando com um ambiente lacustre de água salgada ricos em ostracodes (Reis e Caputo, 2007). O membro superior da seção como sendo depositada em lobos deltaicos em ambiente lacustre (Reis e Caputo, 2007). Essa mudança ambiental está representada na Figura 8.

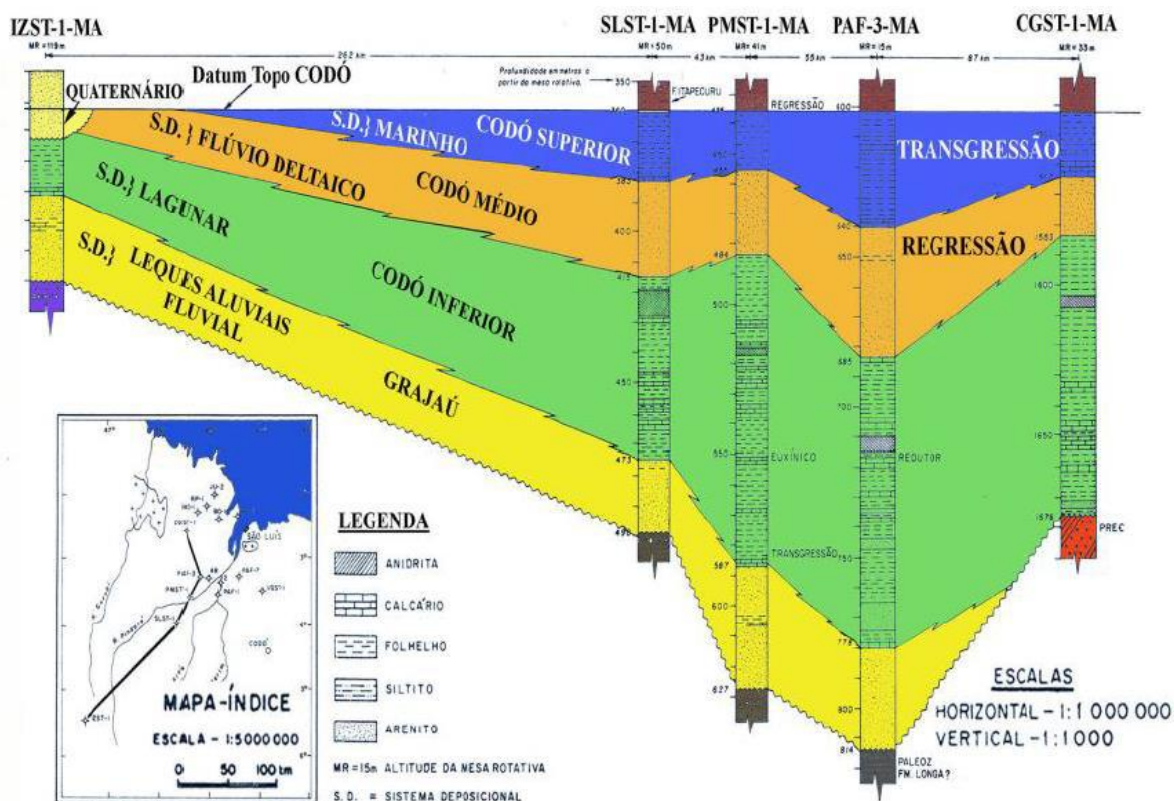


Figura 8 - Correlação de poços da Formação Codó, onde se observa uma subdivisão por sistema deposicionais de Campbell (Reis e Caputo, 2007).

3.4.2 Características sedimentológicas e paleoambientes

Foram identificadas por Rossetti *et al.* (2001b) e Paz e Rossetti (2001) duas sequências deposicionais na Formação Codó separadas por uma descontinuidade de caráter regional na qual a unidade inferior (neaptiana) é correspondente tanto à descrição original de Lisboa (1914) quanto com a unidade superior (albiana) é associada à unidade indiferenciada da Formação Itapecuru reconhecida por Rossetti e Truckenbrodt (1997), expostas na Figura 9.

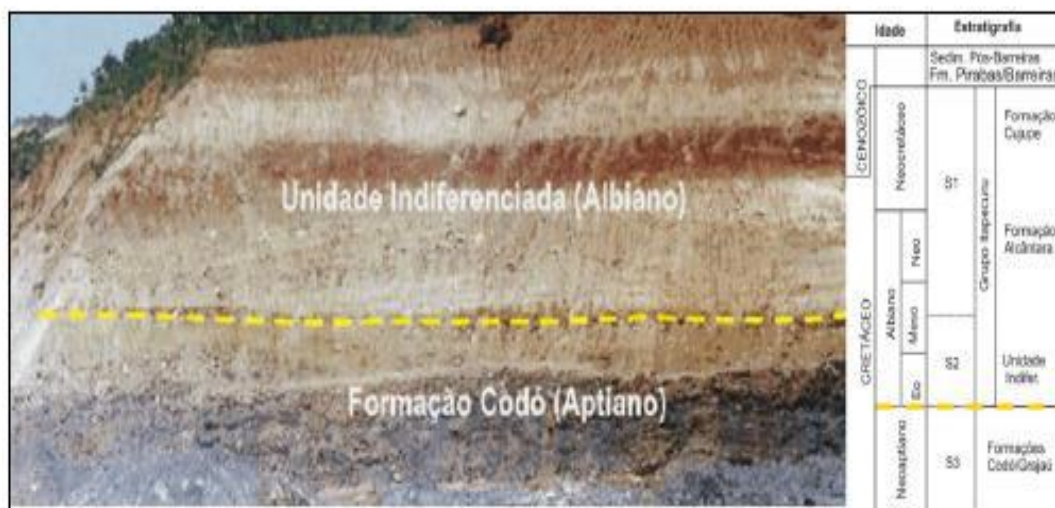


Figura 9 – Representação da divisão da Formação Codó superior e Itapecuru (unidade indiferenciada) (esq.) e posicionamento estratigráfico da seção (direita) (Modificado por Barros, 2012 de Rossetti, 2003)

Através de afloramentos nas proximidades da cidade de Codó (borda leste da bacia) e testemunhos de sondagem Paz e Rossetti (2001) reconheceram 13 fácies sedimentares, na qual foram agrupadas em três associações de fácies vistas na Figura 11: associação de fácies 1 (lago central), associação de fácies 2 (lago transicional) e associação de fácies 3 (lago marginal).

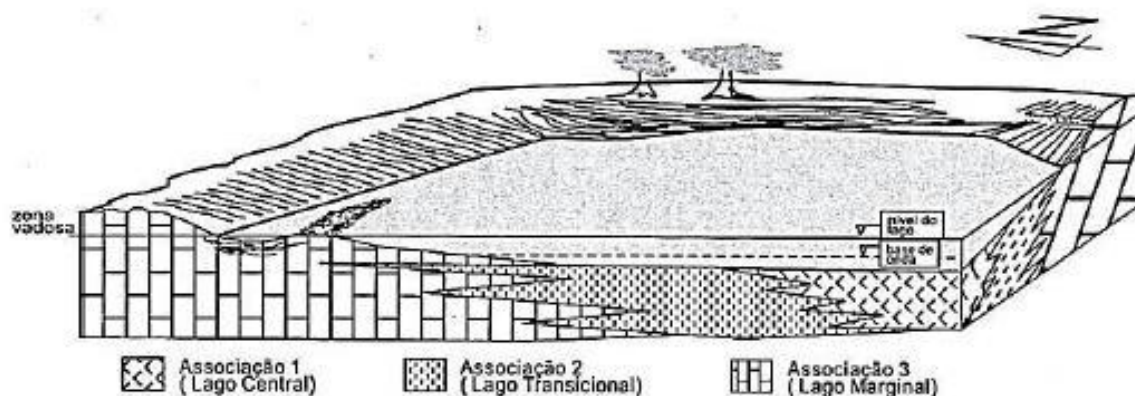


Figura 10 - Reconstrução do paleoambiente da Formação Codó, sendo lacustre e dividido de três formas: Central (associação de fácies 1), transicional (associação de fácies 2) e marginal (associação de fácies 3) (Paz e Rossetti, 2001).

A associação de fácies de lago central é composta por folhelho negro e evaporito, representando um pacote de 10 m de espessura, com ciclo de raseamento para o topo. Devido à presença desses litotipos é possível indicar como um ambiente de baixa energia em condições anóxicas.

Com cerca de 5 m de espessura, a associação de fácies de lago transicional, composta por *mudstone* calcífero; calcário peloidal; calcário mesocristalino e argilito laminado apresenta condições ambientais muito semelhantes com a associação anterior, entretanto, o grau de preservação de matéria orgânica é bem menor.

Na associação de fácies de lago marginal com 7 m de espessura as fácies são caracterizadas como pelito maciço; calcita arenito, gipsita-arenito, calcário ostracodal; calcário pisoidal, ritmito calcário folhelho e tufa. Interpretada como marginal porque o topo

dos ritmos possui características de raseamento ascedente, além de ser corroborada por feições de exposição sub-aérea e atuação de água meteórica (dissolução).

Rodrigues (1995) e Rossetti (2001) interpretam a Formação Codó como de origem lacustre, porém com influência marinha, do centro ao norte da bacia. Entretanto, na região da cidade de Codó (região mais a sul) não há nenhuma evidência paleontológica, geoquímica ou sedimentológica que indique alguma ingressão marinha (Paz e Rossetti, 2001). Os depósitos são então interpretados como de origem lacustre e de idade neoptiana. Devido à quantidade significativa de minerais evaporíticos encontrados na associação de fácies de lago central é também indicado um ambiente hipersalino (Barros, 2012).

Os ciclos lacustres de raseamento para o topo são atribuídos a variações climáticas, com potencial influência de pulsos tectônicos contemporâneos à sedimentação de acordo com Paz e Rossetti (2005). Esses pulsos tectônicos recentes à sedimentação podem proporcionar na bacia mudanças consideráveis no nível do lago, permitindo a criação de espaço de acomodação e a existência de fases de nível do lago rasa e profunda.

Em um estudo sobre o intervalo Grajaú-Codó, Mendes (2007) através da análise de testemunhos de poços do Projeto Carvão (1-UN-24-PI, 1-UN-25-PI, 1-UN-32-PI e 1-UN-35-PI) elabora uma sucessão de fácies, superfícies estratigráficas e tectonossequências das formações Grajaú e Codó. Destas sucessões de fácies, sete foram reconhecidas para a Formação Codó (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5, SF6 e SF7; Quadro 4) organizadas em duas sequências (inferior e superior) separadas por uma discordância de caráter tectônico que acontece no topo da camada evaporítica (Figura 11).

Quadro 4 - Resumo das sucessões de fácies interpretadas na Formação Codó (Mendes, 2007)

CÓDIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
SF1	Sucessão de fácies Ao-Ac-Sc-Fe em ciclos de afinamento granulométrico.	Passagem de um sistema fluvial (fácies Ac) para um lacustre marginal de pequena lâmina d'água ou exposto (fácies Ao e Sc), hipersalino e anóxico.
SF2	Sucessão de fácies B-Fe-cL-cL em ciclos de precipitação química mais intensa.	Deposição de um sistema lacustre hipersalino raso (fácies Fe) em ciclos de raseamento da lâmina d'água (fácies B, cl, e cS).
SF3	Caracteriza-se pela sucessão de fácies Fe-Cs-Sc em ciclos de engrossamento granulométrico.	Conjunto de fácies depositadas na passagem de um sistema lacustre hipersalino raso para sistema deltaico.
SF4	Sucessão de fácies Rt-Fe-G-cL.	Sistema deposicional de <i>sabkha</i> , em ciclos de raseamento para o topo até a exposição subaérea.
SF5	Sucessão autoreflexiva de camadas da fácies Ac ou C	Depósitos fluviais psefíticos ou psamíticos, possivelmente associados a um sistema fluvial entrelaçado e que marca um evento erosivo estendido para todos os poços estudados
SF6	Sucessão autoreflexiva de camadas da fácies Fp	Ampla lago de águas continentais com variação da salinidade devido a uma possível conexão com o mar. Tais condições ofereceram oxigenação suficiente para o desenvolvimento de uma fauna de ostracodes e gastrópodes.
SF7	Sucessão de fácies Ao-cS-Ff-Ac(c)-Ac em ciclos de engrossamento granulométrico.	Passagem de um sistema lagunar de pequena lâmina d'água (fácies Ao, Cs e Fp) para um deltaico a fluvial (fácies Cs, Ac e Ac(c)) em pequenos ciclos de afogamento.

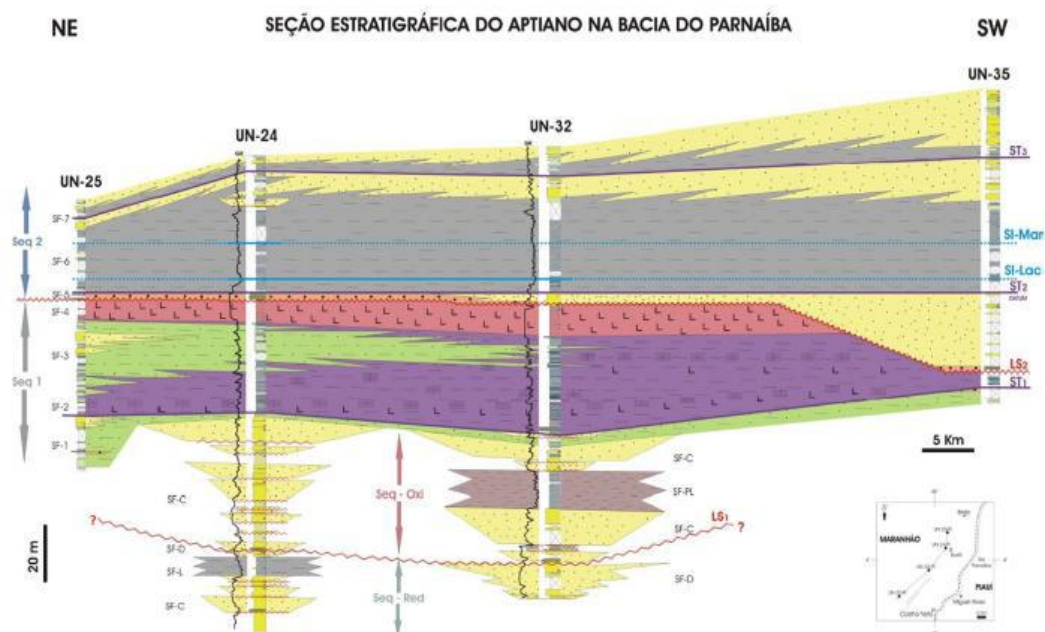


Figura 11 - Correlação estratigráfica da seção aptiana da Bacia do Parnaíba (Mendes, 2007)

Em contrapartida, através de interpretações geoquímicas, isotópicas e litológicas, Bastos *et al.* (2014) sugeriu pela primeira vez a ocorrência de um “Golfo Codó” marcado por períodos de restrição ambiental, gerando condições de hipersalinidade e anoxia, registradas por variações da composição da matéria orgânica no registro sedimentar (Figura 12). Em seu trabalho foram utilizados dados geoquímicos de amostras da Formação Codó coletadas nos furos 1-UN-24-PI e 1-UN-37-PI. Esses dados abrangem análises de isótopos estáveis de carbono orgânico, identificação de biomarcadores e avaliação dos teores de COT, resíduo insolúvel e enxofre total.

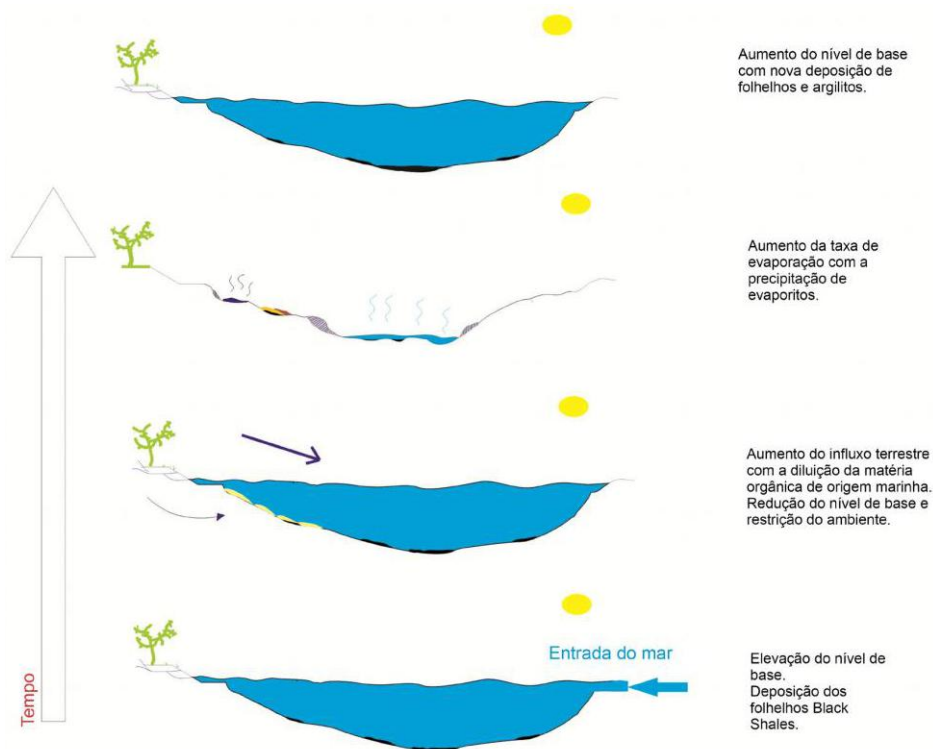


Figura 12 - Modelo da dinâmica sedimentar após a instalação do "Golfo Codó" e posterior restrição ambiental. A elevação do nível de base permitiu a formação de um golfo, onde teria predominado a sedimentação marinha. A redução do nível de base teria permitido a restrição do ambiente de sedimentação, proporcionando a diluição da matéria orgânica marinha com a entrada do aporte fluvioldeltaico. O clima semi-árido, associado à restrição ambiental, permitiu a precipitação dos evaporitos (Bastos et al., 2014)

3.4.3 Paleontologia e idades

A partir da análise de pólenes e esporos, a deposição da Formação Codó foi situada entre o limite Aptiano/Albiano, sendo mais coerente a idade aptiana superior (final do Alagoas) (Lima, 1982). Tal limite também foi apontado por Antonioli (2001), através de estudos palinofaciológicos e bioestratigráficos da Formação Codó, na parte mais ao norte da bacia. Essas duas informações estão de acordo com Rossetti *et al.* (2001b) que através de análises palinológicas atribui idade neoaptiana, na unidade inferior, pela presença de

Sergipea variverrucata (Zona P-270) e meso/neoalbiana, para a unidade superior, devido as presenças de *Crettacaeiporites polygonalis* e de *Matonis porites silvai*.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Perfis Compostos

Os perfis compostos (*composite logs*) são as principais ferramentas para coletar dados e aprofundar os estudos relacionados à distribuição de unidades estratigráficas, orientações estruturais, interpretações paleoambientais, caracterização sedimentológica e relações de proximidade. Sabendo dos objetivos desse trabalho, os perfis compostos são ferramentas essenciais para proporcionar interpretações geológicas a partir de horizontes e intervalos estratigráficos e eletro-horizontes e eletro-intervalos. Sua importância é ainda maior na Bacia do Parnaíba devido à escassez de afloramentos de rochas do intervalo Alagoas, tornando essa metodologia mais eficaz na investigação. Portanto, a fim de compreender a distribuição dos estratos do intervalo Alagoas foram utilizados os perfis litológicos que apresentavam dados sobre os horizontes e intervalos estratigráficos dos poços para a confecção dos mapas e da análise estratigráfica entre as Formações Codó e Grajaú, e o perfil de raio gama para a definição de eletro-horizontes e eletro-intervalos para a correlação estratigráfica.

4.1.1 Perfil Litológico

O perfil litológico é baseado na descrição sedimentológica do geólogo que acompanha o processo de perfuração de um poço por meio de amostras de calha ou

testemunhos de sondagem. Essa descrição é feita através da cor, composição mineralógica, tamanho e seleção dos grãos, grau de arredondamento, textura, presença de fósseis e de estruturas sedimentares.

4.1.2 Perfil de Raio Gama

O perfil de raio gama, assim como outros perfis elétricos, representam as curvas associadas às leituras de uma ferramenta que mede a resposta de uma determinada propriedade física no maciço rochoso. Essas ferramentas podem gerar perfis de raio gama, resistividade, densidade, sônico, neutrão e caliper. Para o interesse proposto nesse trabalho, o que apresentava maior confiabilidade para uma correlação estratigráfica era o perfil de raio gama.

Esse perfil reflete a radioatividade das rochas por meio da presença dos elementos Th, U e K. Tanto o urânio em folhelhos ricos em matéria orgânica ou precipitados posteriormente em aquíferos arenosos, permitem uma leitura anômala alta dos raios gama. A radioatividade dos feldspatos em arenitos arcóseos podem dar uma leitura alta dos raios gama, assim como a concentração de minerais pesados, sendo particularmente monazita e torita. Esses problemas intrínsecos à interpretação de leituras anômala altas do raio gama podem ser resolvidos usando o perfil de gama espectral, individualizando os elementos que são lidos pela ferramenta de raio gama.

Maioria das variações do perfil de raio gama apresentam relação com parâmetros deposicionais e com a razão areia-argila. Entretanto, existem exceções como zonas

cimentadas, carvão e evaporitos, que apresentam leituras do raio gama muito baixas sem apresentar um conteúdo alto de areia.

4.2 Materiais

4.2.1 Poços

Sabendo da importância dos perfis compostos no estudo da Bacia do Parnaíba foi requerido à ANP, via BDEP, os perfis compostos de 44 poços para a realização do trabalho de conclusão de curso. Além destes, foram utilizados os poços 1-UN-25-PI e 1-UN-35-PI de Mendes (2007) e os poços 1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI de Mendes & Borghi (2005). Todos esses poços se encontram nos Apêndices A, B e C. Esses perfis compostos apresentavam informações sobre longitude (em graus), latitude (em graus), cota do poço, horizonte estratigráfico da base da formação, horizonte estratigráfico do topo da formação, profundidade do topo da formação e profundidade da base da formação.

4.2.2 Horizontes e intervalos estratigráficos

Os horizontes e intervalos estratigráficos das formações Codó, Corda, Grajaú e do intervalo salino foram definidos por geólogos em cada uma das descrições dos poços representando limites estratigráficos nos perfis litológicos.

No Apêndice A e no Apêndice B os dados foram condensados para mostrar os horizontes e intervalos estratigráficos para cada formação e intervalo salino do intervalo Alagoas, suas coordenadas geográficas e a cota do poço. O horizonte ou cota 0 corresponde ao nível do mar.

4.2.3 Profundidades do topo e da base das Formações Codó e Grajaú

Para as formações Codó e Grajaú, duas tabelas foram elaboradas e representadas no Apêndice C nesse trabalho, posicionando a profundidade na qual essas formações são alcançadas nos poços (topo da Formação) e quando são ultrapassadas (base da Formação). Essas informações estão relatadas nos perfis litológicos dos poços. A criação dessas tabelas tem como objetivo investigar a relação de interdigitação entre essas unidades como foi afirmado primeiramente por Lima e Leite (1978) e a geração de um modelo 3D para promover uma melhor visualização das superfícies do topo e da base dessas unidades.

4.2.4 Softwares

A análise da distribuição das unidades na bacia do Parnaíba e as interpretações necessárias de cada formação e do intervalo salino do intervalo Alagoas foram feitas no software de geoprocessamento *ArcGis* 10.6. A investigação sobre a relação de interdigitação das Formações Codó e Grajaú descritas por Lima e Leite (1978), assim como a modelagem 3D dessas formações, foi feita no software *Geosoft Oasis Montaj*. E a confecção e correlação da seção estratigráfica feita para o intervalo Alagoas foi realizada no software *Corel Draw X6*.

4.3 Métodos

4.3.1 Localização dos poços

Assim que as coordenadas geográficas dos poços foram organizadas em planilhas no Excel, os dados foram salvos na extensão .TXT . Com isso, foi possível importar todas as informações no *software ArcGis 10.6* e gerar um mapa de localização dos poços utilizando o *datum* oficial nacional SIRGAS 2000 (Figura 13). Nota-se que alguns poços estão localizados já dentro da Bacia de São Luís, acima do limite norte da Bacia do Parnaíba.

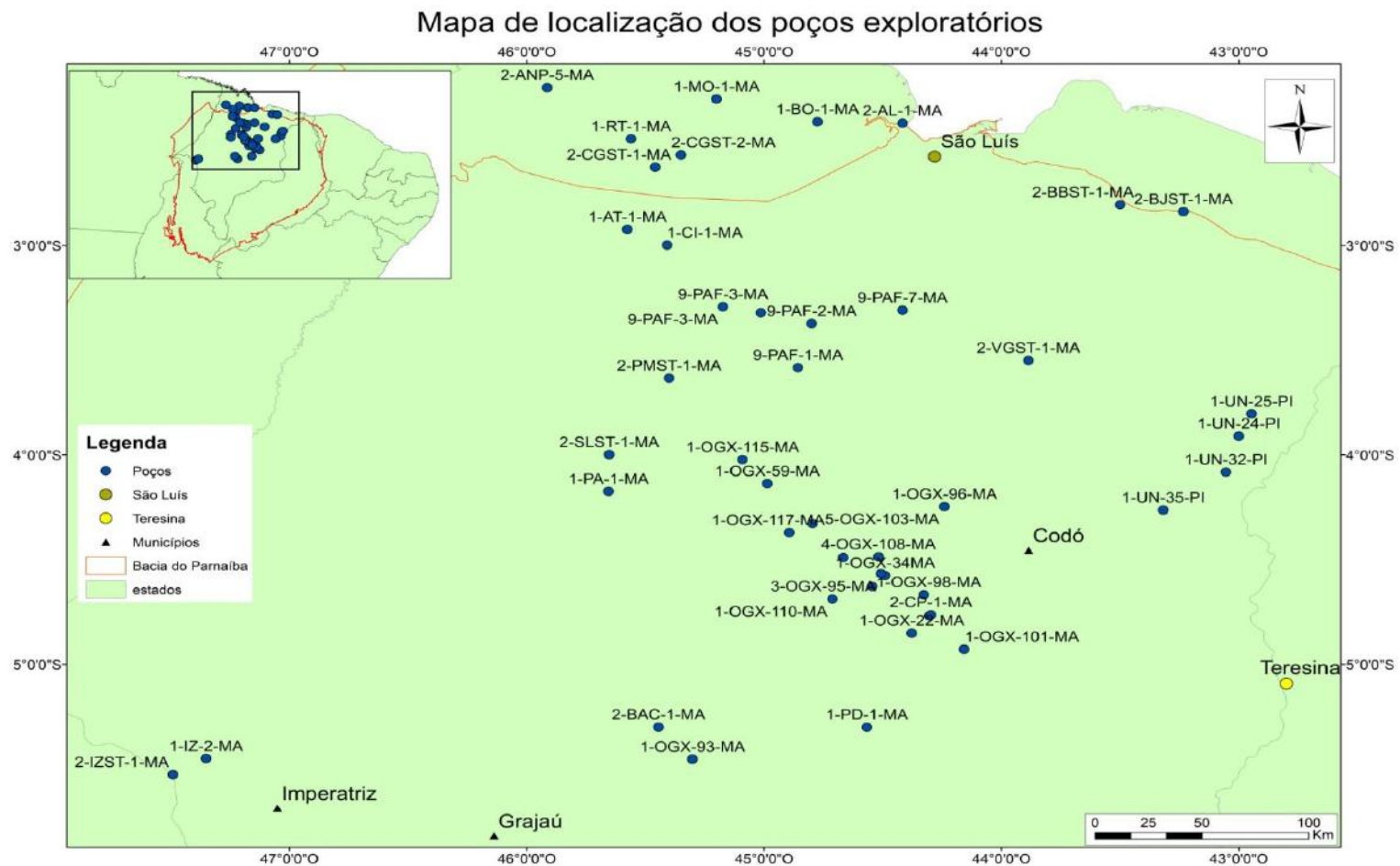


Figura 13 - Mapa com a localização dos poços exploratórios no sistema de coordenadas geográficas utilizando o datum SIRGAS 2000.

4.3.2 Seção Geológica

Dentre os 48 perfis compostos obtidos, os poços 1-OGX-59-MA, 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA foram selecionados (Figura 14) para a confecção de uma seção geológica (Figura 15), com orientação NW-SE, no *software Corel Draw X6*. A escolha desses poços está relacionada a critérios de proximidade e por indicarem, segundo a bibliografia, a seção de mergulho (*dip*) da Formação Codó.

A distância entre os poços 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA são de 21 km e entre os poços 1-OGX-59-MA e 1-OGX-107-MA são de 52 km.

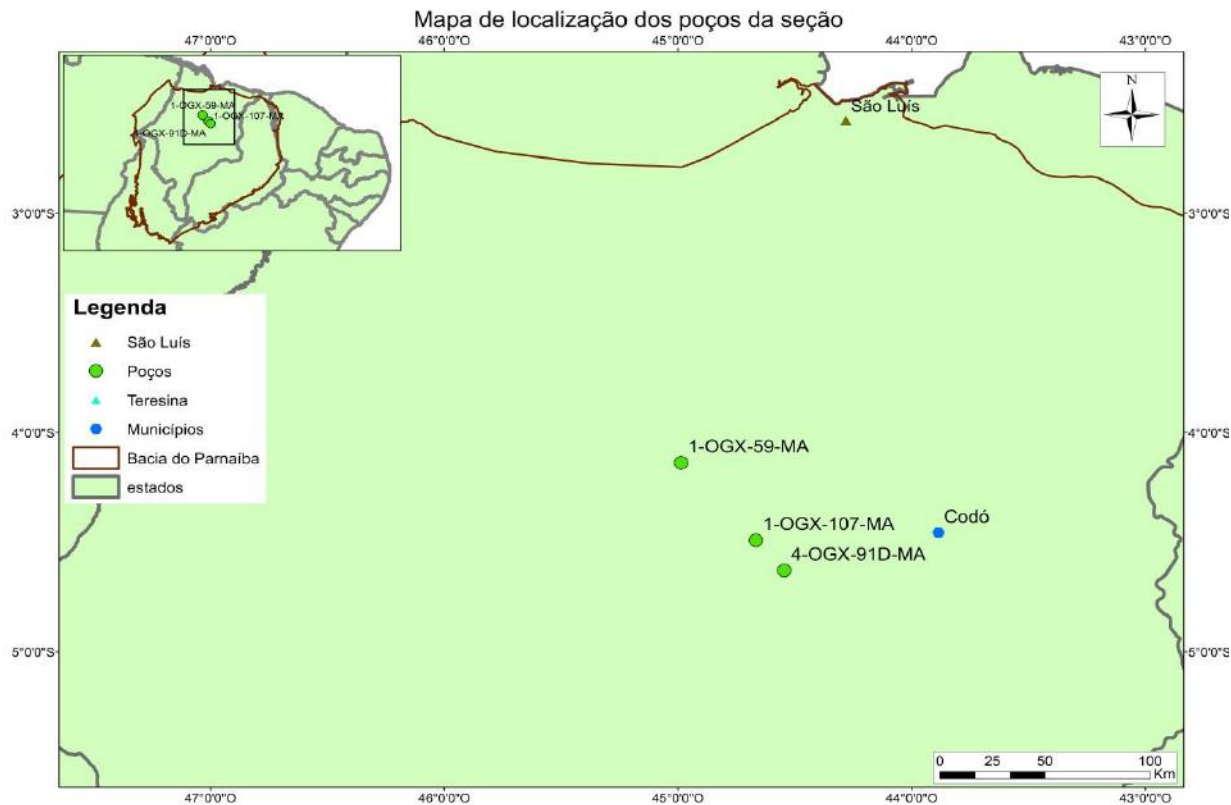


Figura 14 – Mapa de localização dos poços utilizados na seção geológica.

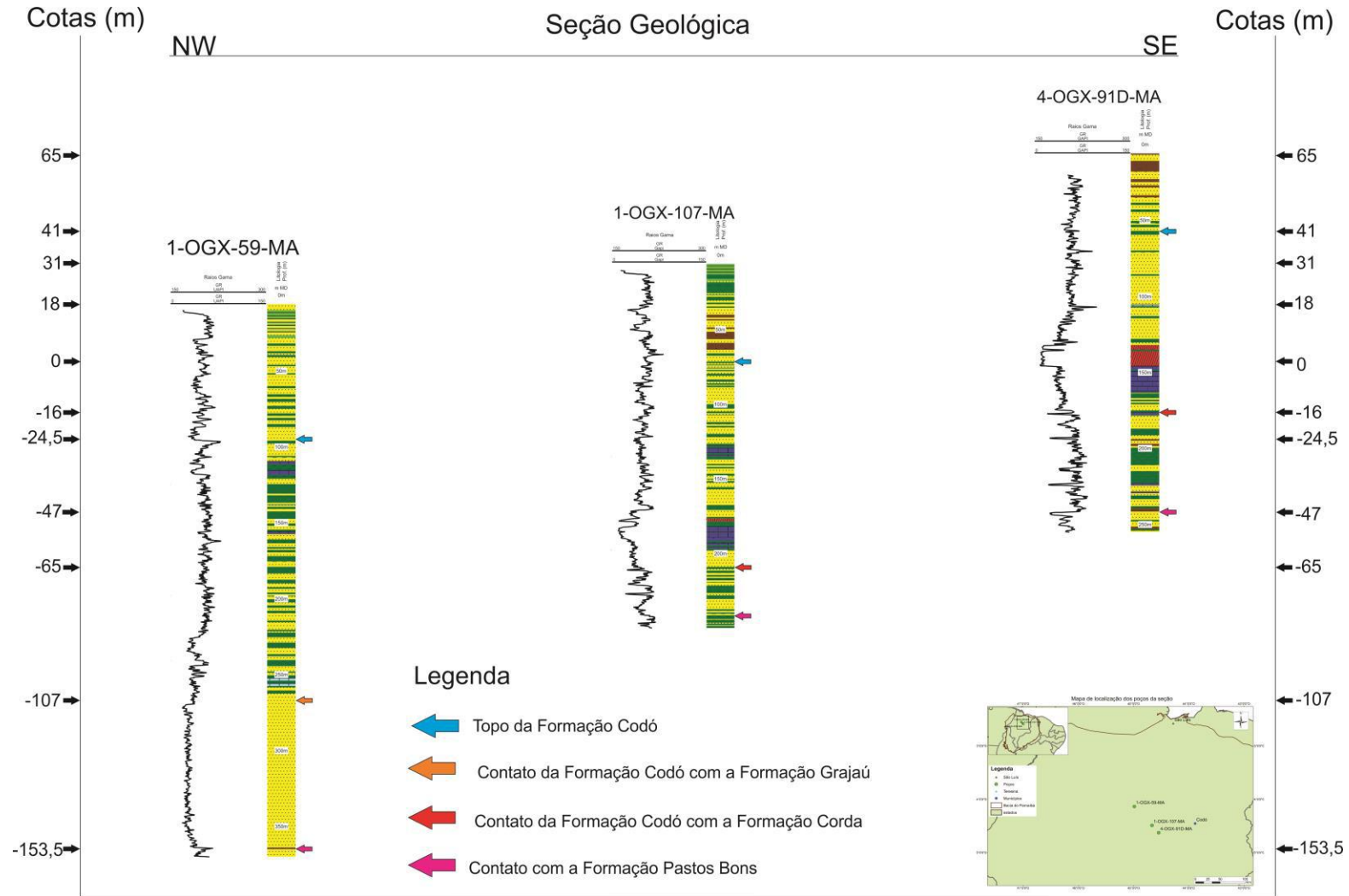


Figura 15 - Seção Geológica dos Poços 1-OGX-59-MA, 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA.

4.3.2 Eletro-horizontes e eletro-intervalos de correlação

Através da obtenção dos perfis de raios gama dos poços e da seção geológica, a correlação desses poços foi feita por meio da criação de eletro-horizontes e eletro-intervalos de correlação. Esses limites foram definidos a partir das curvas anômalmente mais altas (picos) no perfil de raio gama, ou seja, nas rochas mais ricas nos elementos radioativos K, Th e/ou U. Com a marcação desses limites, foi estabelecido eletro-intervalos de correlação. Para esse caso, o pico corresponde a uma função direta do conteúdo de matéria orgânica preservada representada por folhelhos no perfil litológico.

Para a realização da correlação estratigráfica, foi estipulado um *datum* estratigráfico a partir dos perfis elétricos de raios gama dos três poços. Esse *datum* corresponde ao pico mais alto na leitura do perfil de raio gama, podendo ser associado à demarcação do eletro-horizonte mais radioativo no intervalo Alagoas. Esse horizonte mais radioativo ou com um elevado grau de preservação de matéria orgânica está associado a um ambiente de mais baixa energia. Por isso, se tratando de *datum* estratigráfico esse eletro-horizonte é considerado um excelente marcador devido uma maior horizontalidade e quiescência no período deposicional.

Após o estabelecimento do *datum* estratigráfico a seção geológica teve seus poços balizados segundo ele gerando, assim, uma seção estratigráfica do intervalo Alagoas. Esta seção representa como os estratos estavam distribuídos no período de deposição das unidades.

4.3.3 Métodos Geoestatísticos

A geoestatística tem por objetivo a caracterização de uma variável de interesse por meio do estudo de sua distribuição e variabilidade espaciais a partir de métodos geoestatísticos, com determinação das incertezas associadas (Yamamoto e Landim, 2013). Existem diversos métodos geoestatísticos como krigagem multigaussiana, krigagem lognormal, interpolação bidirecional, cokrigagem, etc. Porém, para a realização da análise estratigráfica das Formações Codó e Grajaú e confecção dos mapas estratigráficos foram utilizados apenas dois métodos geoestatísticos: Interpolação por Mínima Curvatura e Krigagem Ordinária com semi-variograma Esférico.

Ambos os métodos são baseados na interpolação de dados, que se trata da utilização dos dados obtidos para determinar e preencher, de forma otimizada e com a melhor aproximação possível, pontos da rede de dados que não foram amostrados.

O método de interpolação por Mínima Curvatura gera uma superfície suavizada na qual todos os dados são atravessados (Santos *et al.* 2016). Esse método gera um novo *grid* de pontos aplicando sucessivamente o modelo de regressão por mínimos quadrados sobre a superfície pré-determinada, de forma que cada passagem consiga-se atingir um melhor nível de suavização (Santos *et al.* 2016). Esse método foi escolhido para a investigação estratigráfica das Formações Codó e Grajaú, pois promove uma maior aproximação da superfície gridada dessas unidades em relação às superfícies reais dos estratos em regiões próximas e distantes dos dados reais coletados, proporcionando maior confiabilidade para avaliar a interdigitação dessas unidades.

A Krigagem é um método que utiliza geoestatística para efetuar a interpolação, o que na maioria dos casos leva a uma grande vantagem em relação a outros métodos. Ela pode ser um interpolador tanto exato como suavizador. Além disso, a Krigagem tenta expressar tendências sugeridas pelos dados amostrados, de forma que os valores de picos podem ser conectados ao longo de uma crista, ao invés de ficarem isolados (Yang *et al.*, 2012). O uso do método Ordinário da Krigagem se deve à sua média ponderada, que usa a informação estrutural fornecida pelo modelo de variograma (função que mede a variação do valor de uma variável em relação às restantes da mesma amostragem) e proporciona a incerteza associada à estimativa (Yamamoto e Landim, 2013). O semi-variograma esférico associado à Krigagem Ordinária diz respeito à utilização do gráfico de semi-variância (medida do grau de dependência espacial entre duas amostras) em relação à distância em uma representação esférica. Esse método foi adotado para a elaboração dos mapas de contorno estrutural x isópacas por ser considerado o melhor para a estimativa linear sem obliquidade (a situação mais próxima da ideal) que pode ser adotado.

4.3.4 Relação estratigráfica das formações Codó e Grajaú

Essa análise teve como base o Apêndice C, pois se tratam da correlação estratigráfica entre os intervalos estratigráficos das formações Codó e Grajaú para verificar a existência de uma interdigitação entre elas. As tabelas foram salvas no formato .xls para serem importadas para o *software Geosoft Oasis Montaj*, onde a análise foi realizada.

Nele, uma tabela tipo *Collar* e outra tipo *From To* foram criadas, e, logo em seguida o sistema de coordenadas foi definido passando de coordenadas geográficas para

coordenadas projetadas em UTM/ Zona 23S no *datum* SIRGAS 2000. A partir disso, com o uso da tabela tipo *From To*, criou-se uma superfície, através do método geoestatístico de mínima curvatura, em forma de *grid* para o topo e para a base das formações. Logo depois, cada *grid* foi convertido para o formato *database* com 105 linhas para a Formação Codó e 116 linhas para a Formação Grajaú, onde em cada linha apresentavam pontos com 4 colunas (coordenadas x, coordenadas y e profundidade da base ou do topo da formação) sendo uma criada, justamente para manter esses limites (topo e base) dentro do mesmo *database* de uma formação.

Por serem duas formações geológicas (Formação Codó e Formação Grajaú), dois *databases* são estabelecidos. Entretanto, os dois *databases* apresentavam coordenadas diferentes entre eles e para estabelecer se há ou não uma interdigitação é necessário que essas coordenadas sejam iguais. Portanto, em cada linha investigada pelo *database*, foi necessário sincronizar essas coordenadas e interpolar os valores para o topo e para base da formação.

Logo após, baseado nos dois *databases*, a partir do item *Show Profile*, dois perfis (um para o topo e outro para a base) revelando a diferença de profundidade ao longo das coordenadas foram analisados em cada *database*. Essa diferença irá corresponder ao mergulho real da formação naquela linha. Posteriormente, esses perfis são plotados sob a forma de figura (*Plot Profile Figure*) e os ângulos são medidos ao longo das linhas (*Measure Angle*). Sabendo dos ângulos tanto da base quanto do topo em cada linha dos *databases*, foi feito uma análise final para saber se há uma interceptação (interdigitação) dos mergulhos entre as Formações Codó e Grajaú em cada linha.

Para melhor visualização desses mergulhos, ainda no *Geosoft Oasis Montaj*, os mergulhos das superfícies criadas para o topo e para a base da Formação Codó e Grajaú foram representados em um bloco 3D. Nesse bloco, tais superfícies foram consideradas como superfícies de relevo com um método de cores de equalização do histograma. O eixo Z desse bloco teve uma renderização de 100x.

4.3.5 Mapeamento estratigráfico

A partir da delimitação dos horizontes e intervalos estratigráficos demonstrados nos Apêndices A e B, foi possível fazer um mapeamento em subsuperfície através da geração de mapas de contorno estrutural x isópacas que permitissem interpretar a distribuição das unidades do intervalo Alagoas.

A geração de mapas de contorno estrutural e isópacas, para as formações Codó, Grajaú e Corda se deu através do método geoestatístico de krigagem. Em ambos os mapas criados o método de krigagem usado foi ordinário, com um modelo de semivariograma esférico e tamanho de célula equivalente à 0,01 metros para as Formações Codó e Grajaú, 8,84 metros para a Formação Corda. No mapa de contorno estrutural a variável empregada foi a cota do topo da formação que se desejava, e para o mapa de isópacas as espessuras das formações foram utilizadas.

Especialmente para o mapa de isópacas para poder visualizá-lo em conjunto com o mapa de contorno estrutural, a krigagem empregada foi transformada para o padrão de curvas de nível representadas por isolinhas. Essas curvas foram separadas de 30 em 30 metros para a Formação Codó, 10 em 10 metros para a Formação Grajaú e 20 em 20 metros

para a Formação Corda de maneira a promover uma melhor visualização dessas isolinhas associadas com os mapas de contorno estrutural.

Com os poços disponibilizados no mapa, aplicou-se mais uma vez a krigagem, porém usando como dado de entrada os poços com sal e a variável do topo do sal como o campo de valor Z à oscilar. O método dessa krigagem foi ordinário, com modelo de semivariograma esférico e tamanho da célula correspondente à 5,99 metros. O mesmo método foi feito para a espessura do sal. Contudo, para associar o mapa de contorno estrutural x isópacas do sal foram geradas curvas de nível de 2 em 2 metros representando isolinhas de espessura para melhor visualização desses dois mapas em conjunto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Correlação Estratigráfica

5.1.1 Definição dos Eletro-horizontes

Observando os padrões dos perfis de raios gama, foi possível identificar 4 eletro-horizontes de correlação, marcados pelos picos mais radioativos, designados do topo para a base de A, B, C e D. O eletro-horizonte ou pico A foi considerado o *datum* estratigráfico da seção estratigráfica (Figura 16) pois representa o eletro-horizonte mais radioativo dentre os vistos nos perfis elétricos.

O eletro-horizonte A marca o limite superior do intervalo estudado dentro do Intervalo Alagoas. O eletro-horizonte B é marcado acima do intervalo do sal, onde se observa um aumento no sinal do raio gama dentro do intervalo superior da Formação Codó. O eletro-horizonte C está localizado imediatamente acima do intervalo de gipsita, sendo próximo ao limite do topo da parte inferior da Formação Codó. Já o eletro-horizonte D, de acordo com a indicação do perfil de raios gama, representa o limite inferior do intervalo estudado dentro do intervalo Alagoas.

Como esses eletro-horizontes foram definidos, em grande parte, dentro do intervalo estratigráfico da Formação Codó, é possível afirmar que graças às divisões estratigráficas da Formação Codó feitas por Mesner e Woolridge (1962) e o conceito de tectonossequências proposto por Mendes (2007), o intervalo entre os eletro-horizontes C e

D estão incluídos, em parte, dentro do Codó inferior e o intervalo entre os eletro-horizontes A e C estão incluídos, em parte, dentro do Codó superior.

5.1.2 Definição dos Eletro-intervalos

Como a demarcação desses eletro-horizontes é diferente da definição dos horizontes estratigráficos, não é correto associar esses eletro-horizontes como horizontes estratigráficos. Entretanto, ainda é possível analisar os eletro-intervalos em metros e interpretar lateralmente os estratos dentro desses novos intervalos. As tabelas 1, 2 e 3 demonstram quanto vale a espessura desses intervalos para cada poço na seção estratigráfica:

Tabela 1 - Tabela com os eletro-intervalos do poço 1-OGX-59-MA.

Poço 1-OGX-59-MA	
Eletro-intervalo	Metros
Eletro-intervalo AB	32
Eletro-intervalo BC	20,5
Eletro-intervalo CD	18

Tabela 2- Tabela com os eletro-intervalos do poço 1-OGX-107-MA.

Poço 1-OGX-107-MA	
Eletro-intervalo	Metros
Eletro-intervalo AB	26
Eletro-intervalo BC	23
Eletro-intervalo CD	20

Tabela 3- Tabela com os eletro-intervalos do poço 4-OGX-91D-MA.

Poço 4-OGX-91D-MA	
Eletro-intervalo	Metros
Eletro-intervalo AB	18
Eletro-intervalo BC	11
Eletro-intervalo CD	24

5.1.3 Interpretação da seção estratigráfica

Analisando a distribuição litológica nos perfis compostos dos 3 poços e considerando um paleoambiente lacustre para a Formação Codó, observa-se que os estratos abaixo do eletro-horizonte D apresentam aumento na espessura de corpos sedimentares areníticos para NW representando maior proximidade ao continente também nessa direção,

nos estratos associados às Formações Grajaú e Corda.. No eletro-intervalo CD é possível mapear o intervalo estratigráfico do sal (gipsita), mesmo quando este está ausente, pois o eletro-horizonte C acompanha lateralmente o intervalo salino. Além da gipsita, há nesse intervalo arenitos intercalados com folhelhos e níveis de calcários. De maneira geral nesse eletro-intervalo, observa-se maior quantidade de arenito para SE e folhelhos para NW, indicativo de ambiente mais proximal ao continente para SE. A sequência evaporítica ocorre mais espessa no poço 4-OGX-91D-MA corroborando com essa proximidade maior ao continente para SE, e diminui para NW até se extinguir no poço 1-OGX-59-MA. Já no eletro-intervalo AC observa-se o mesmo padrão de proximidade ao continente que o eletro-intervalo CD, porém sem a sequência evaporítica. Acima do eletro-horizonte A há alguns corpos sedimentares ainda dentro do intervalo superior da Formação Codó, e a Formação Itapecuru que registra as primeiras evidências marinhas do Oceano Atlântico.

Em conjunto, pode-se dizer que houve uma diminuição na energia deposicional devido ao aumento do conteúdo de matéria orgânica propício de ambientes redutores ricos em urânio mais para NW no eletro-intervalo AD. Além disso, abaixo do eletro-horizonte D observa-se que as formações Corda e Grajaú se encontram em uma possível interdigitação pela coincidência das cotas, mas não há uma interdigitação com a Formação Codó, conforme já observado por Mendes (2007).

A associação de fácies de ambiente lacustre citada por Paz e Rossetti (2001), representada na Figura 10 permite dizer através da litologia das rochas no intervalo estratigráfico associado à Formação Codó que os poços 4-OGX-91D-MA e 1-OGX-107-MA se tratam de uma associação de fácies de lago central devido a presença de folhelhos negros radioativos, evaporitos e raseamento ascendente, classificando esse paleoambiente

como um ambiente de baixa energia em condições anóxicas e o poço 1-OGX-59-MA uma associação de fácies de lago transicional por apresentar *mudstone* calcífero, calcário mesocristalino e calcário peloidal com condições ambientais semelhantes aos outros poços, porém com grau de preservação de matéria orgânica menor devido aos picos mais baixos no perfil de raio gama.

Sob outra perspectiva, os ciclos estratigráficos de Bastos (2014), ilustrados pela Figura 12, permitem inferir que os folhelhos mais radioativos (com picos maiores no perfil *Gamma Ray*) vistos na Figura 16 estão associados à uma elevação do nível de base. Logo depois, ocorre um aumento na taxa de sedimentação com diluição de matéria orgânica favorecendo a diminuição do nível de base e restrição do ambiente permitindo a precipitação de carbonatos. Com o aumento dessa taxa de evaporação devido ao clima árido, os evaporitos começam a precipitar, fenômeno bem representado no eletro-intervalo CD na Figura 16. Para SE, é observada uma maior precipitação de gipsita, sugerindo uma restrição maior de ambiente e menor taxa de sedimentação no eletro-intervalo CD. Esses ciclos não se repetem acima do eletro-horizonte C porque não há uma diminuição considerável do nível de base, ou o clima se torna mais úmido, ou há uma movimentação constante de águas salinas que não favorecem a precipitação de evaporitos.

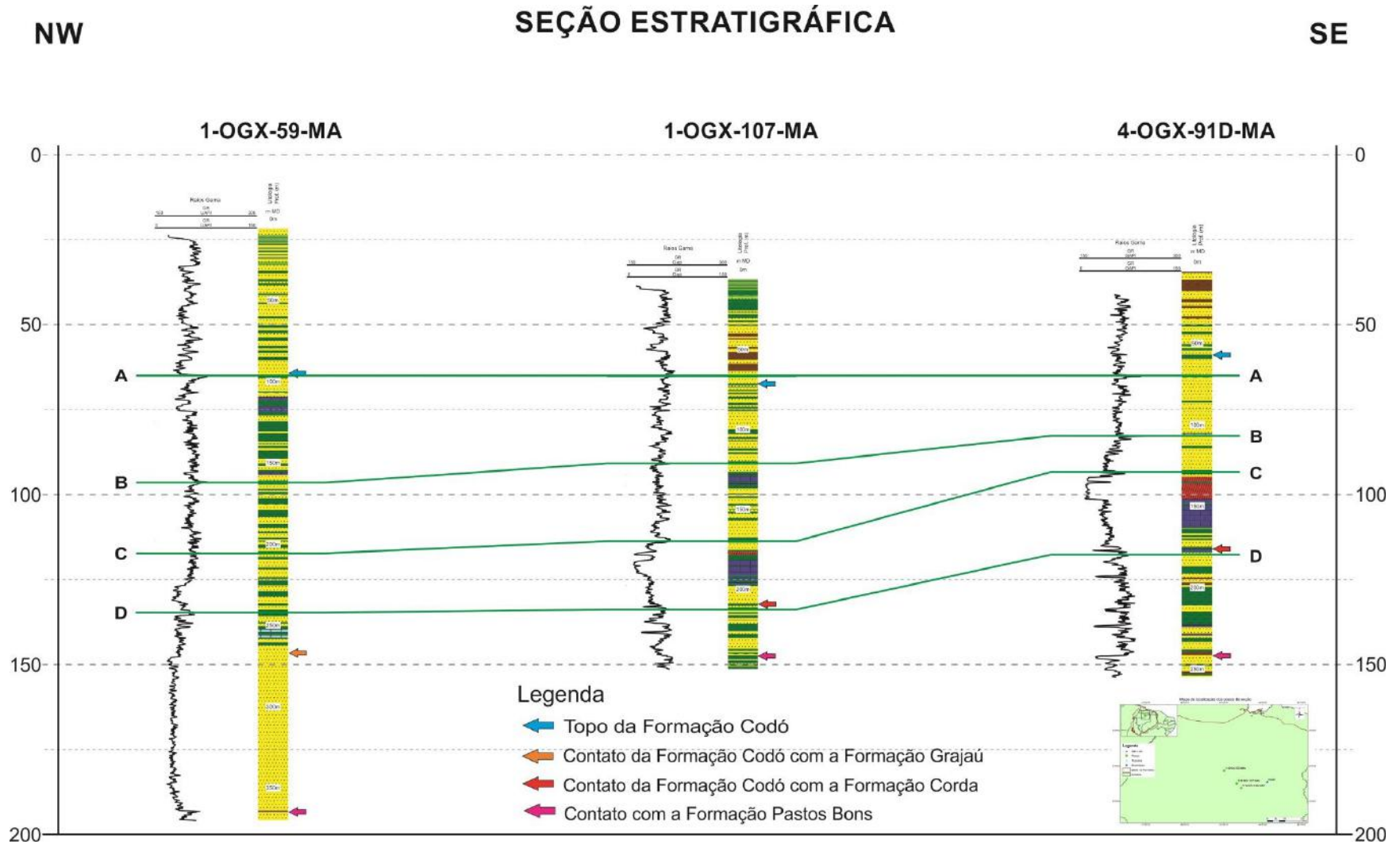


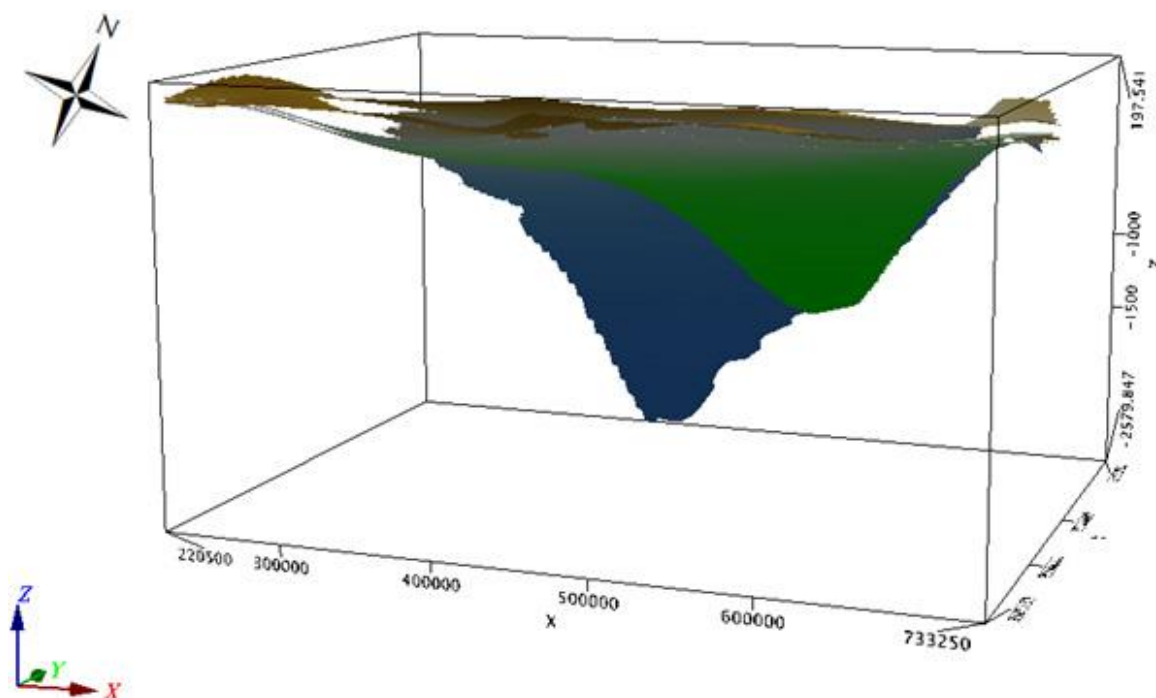
Figura 4 - Correlação estratigráfica dos poços 1-OGX-59-MA, 1-OGX-107-MA e 4-OGX-91D-MA através dos perfis elétricos de raio gama.

5.2 Relação estratigráfica entre as formações Codó e Grajaú


Diante dos resultados feitos para essa análise no *Geosoft Oasis Montaj* mencionada no tópico 4.3.4, o que se identificou foi que devido à diferença da quantidade de poços que continham a Formação Codó e a Formação Grajaú e distâncias muito grandes entre os pontos nas linhas dentro das superfícies criadas para o topo e para a base dessas formações, essa metodologia mostrou-se inaplicável para a investigação da interdigitação das unidades.

5.2.1 Modelagem 3D

Embora o método geoestatístico de mínima curvatura não tenha sido passível de aplicação na análise estratigráfica de interdigitação a confecção do modelo 3D demonstrou as superfícies do topo e da base das unidades de maneira geral e seguiu uma tendência de mergulho da Formação Codó para NW e da Formação Grajaú para N-NW, embora esteja com um exagero vertical de 100x (Figuras 17, 18 e 19). Observa-se também a sobreposição da Formação Codó sob a Formação Grajaú como já visto nos perfis compostos e na seção estratigráfica, contrariando a relação de interdigitação dita por Lima e Leite (1978). A escala de cores para as superfícies do topo e da base da Formação Codó correspondem ao gradiente azul – marrom e para as superfícies do topo e da base da Formação Grajaú o gradiente verde claro – branco.

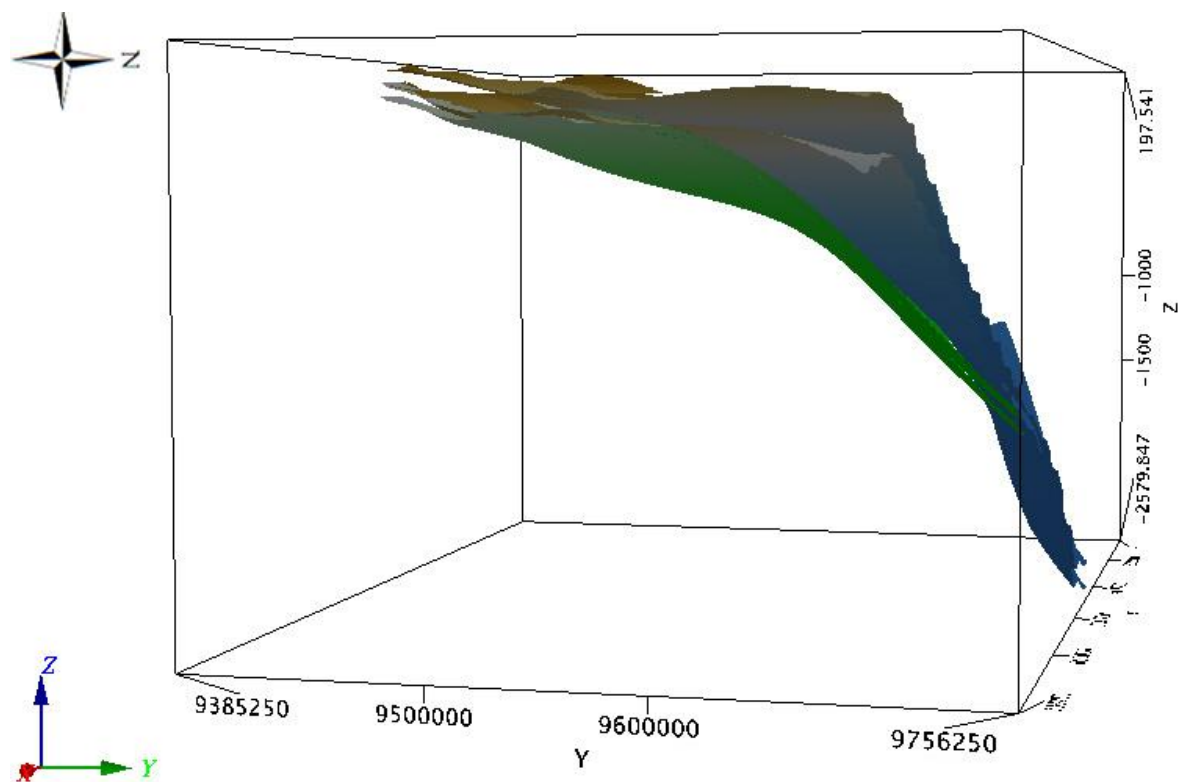


Legenda:

Formação Codó 

Formação Grajaú 

Figura 5- Observação do Bloco 3D nas direções XZY. O Norte corresponde ao eixo Y.



Legenda:

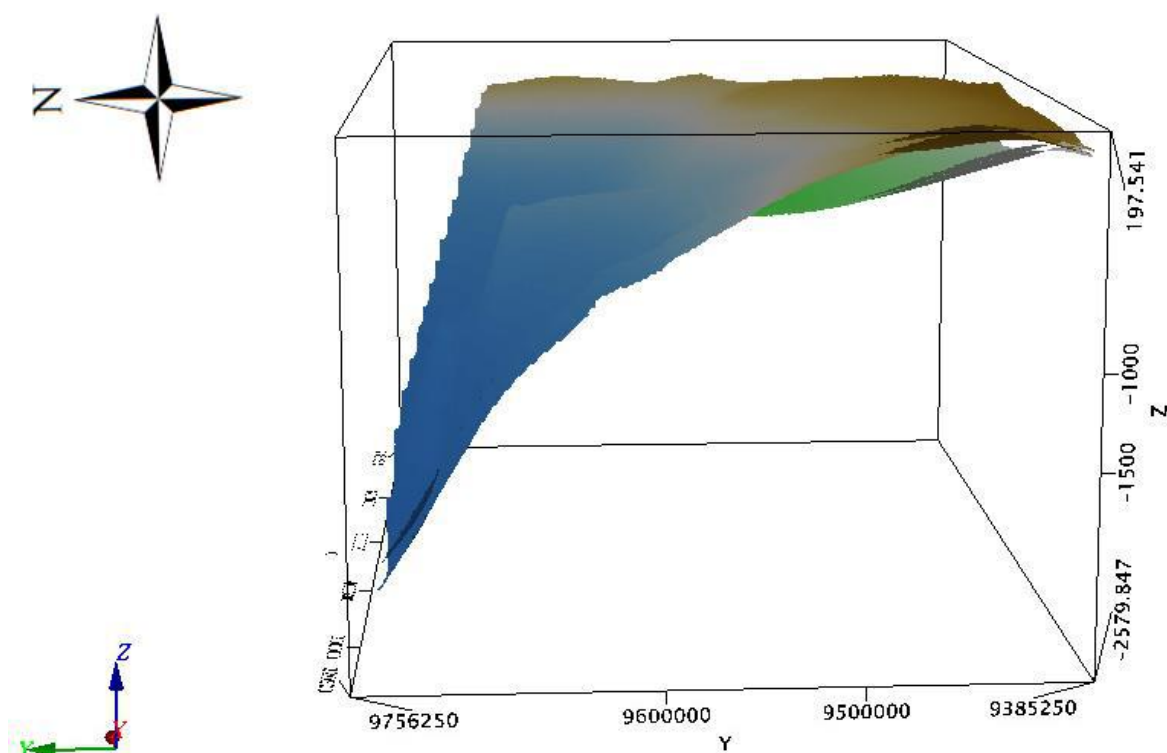
Formação Codó



Formação Grajaú



Figura 6- Observação do Bloco 3D nas direções YZX. O Norte corresponde ao eixo Y.



Legenda:

Formação Codó



Formação Grajaú



Figura 7- Observação do Bloco 3D nas direções YZX. O Norte corresponde ao eixo Y.

5.3 Mapeamento Estratigráfico

Utilizando a metodologia aplicada no tópico 4.3.5, foram gerados os seguintes mapas que são ilustrados nas figuras 20, 21, 22 e 23 para interpretar a distribuição das unidades do Cretáceo inferior (Andar Alagoas) e do intervalo salino da bacia do Parnaíba. Essas interpretações são mais próximas do ideal em regiões onde há uma maior concentração de poços, e menos confiáveis em regiões onde os poços estão mais distantes uns dos outros.

5.3.1 Formação Codó

É possível identificar no mapa de contorno estrutural x isópacas gerado o Arco Ferrer-Urbano Santos que limita, ao norte, a Bacia do Parnaíba da Bacia de São Luís, através da variação brusca do horizonte estratigráfico (cota) do topo da Formação Codó, representado pela mudança de cores de vermelho para azul observado na figura 18. Essas cotas variam de 175 metros até -2413 metros de profundidade. A região mais profunda da Formação Codó, com valores de cotas de -1281 até -2413 metros, está localizada fora dos limites da Bacia do Parnaíba, sendo pertencente à Bacia de São Luís, podendo ser resultado de um basculamento causado por uma deformação pós-deposicional no conjunto de estratos. Pode-se afirmar também que a formação Codó apresenta mergulho (*dip*) para NW, próximo ao mergulho regional norte apontado por Fernandes e Della Piazza (1978), e apresenta porções com espessuras que alcançam pouco mais de 270 metros, diferente dos 180 metros ditos por Fernandes e Della Piazza (1978).

Percebe-se que as espessuras representadas pelas linhas verdes no mapa são bem distribuídas e não apresentam um padrão de crescimento muito claro no mapa. Somente na região nordeste é possível observar um aumento de espessura considerável podendo atingir um pouco mais de 270 metros, sendo a maior espessura dessa formação identificada no mapa. Isso é causado por uma maior geração de espaço de acomodação, propiciada por uma depressão do local que pode estar associada a uma subsidência tectônica ou elevação do nível do lago.

Pela escala de cores é possível reconhecer um alto estrutural no mapa, associado ao poço 2-BJST-1-MA, que apresenta de 13 até 94 metros de cota para a Formação Codó. Nele, entende-se que um movimento relativo pós-deposicional significativo ocorreu entre o bloco pertencente ao poço 2-BJST-1-MA e aos adjacentes, que permitiu que um pacote de 270 metros depositado em um grande espaço de acomodação estivesse em uma região alta em relação às demais do mapa. O bloco pertencente ao poço 1-AT-1-MA também se trata de um alto estrutural em relação aos blocos adjacentes, podendo estar associado a um movimento relativo, porém com cotas variando de -553 à -472 metros.

. Além disso, sabendo a localização da cota 0 do topo dessa formação, observa-se que os afloramentos mapeados estão em regiões onde o horizonte estratigráfico do topo da Formação Codó são positivos, com valores variando até 175 metros de altura.

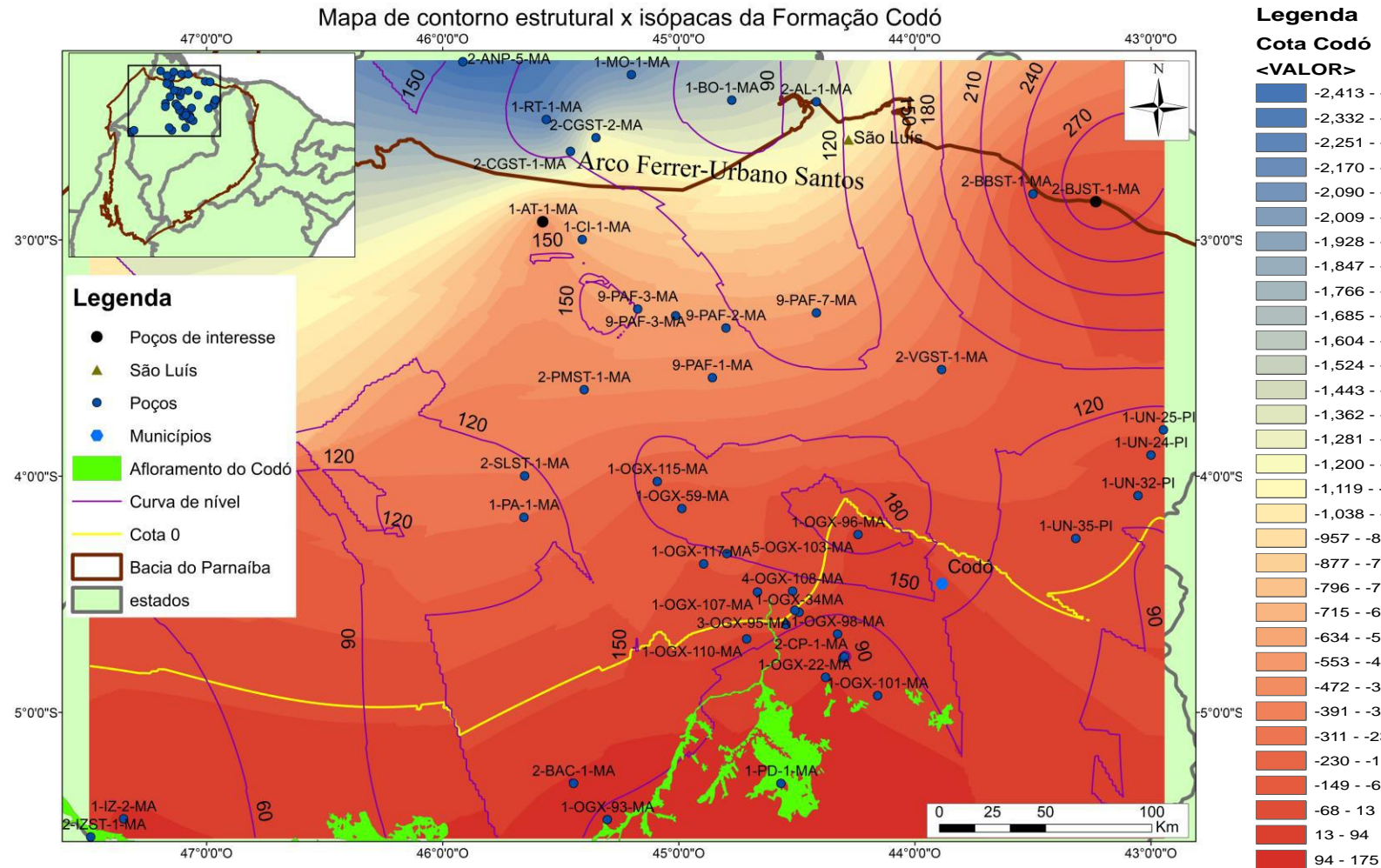


Figura 8 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da Formação Codó estão representadas pela escala de cores, as curvas de nível representando as isópacas das espessuras dessa unidade, a linha amarela associada à cota 0 e a linha marrom indicando o limite da Bacia do Parnaíba. Os círculos em preto indicam os altos estruturais detectados.

5.3.2 Formação Grajaú

A ocorrência da Formação Grajaú nos poços é concentrada na região norte do mapa, entretanto é possível inferir a distribuição dessa unidade ao longo da área de estudo. A escala de cores representa a variação do horizonte estratigráfico (cota) do topo da Formação Grajaú ao longo da área de estudo, mudando entre 77 e – 1994 metros. Com isso, é visto que na região norte do mapa há uma porção muito profunda, de cotas entre -1152 à -1994 metros, já na Bacia de São Luís, e o mergulho (*dip*) da Formação Grajaú com orientação N-NW. O Arco Ferrer-Urbano Santos é bem marcado através dessa variação brusca de cota do topo dessa unidade, na parte norte da bacia.

Porções altas dessa unidade (com cotas entre -117 à -52 metros) e espessas (pouco mais de 60 metros) se encontram à leste do mapa representado pelo bloco que inclui o poço 1-UN-24-PI. Esse alto estrutural pode estar associado à um movimento relativo pós-deposicional desse bloco com o adjacente.

A espessura dessa formação é bem distribuída ao longo do mapa, podendo atingir pouco mais de 80 metros. Porções com essa espessura podem ser localizadas próximas ao poço 1-PA-1-MA (Bacia do Parnaíba). Dentro da Bacia de São Luís identificam-se espessuras de um pouco mais de 70 metros mais a NE da bacia. Essas regiões estão associadas a uma maior geração de espaço de acomodação dadas pelos fatores de controle (clima, tectônica e eustasia).

Os afloramentos mapeados da Formação Grajaú são identificados na parte sul do mapa, na qual nenhum poço utilizado no trabalho testemunhou a Formação Grajaú em seus limites.

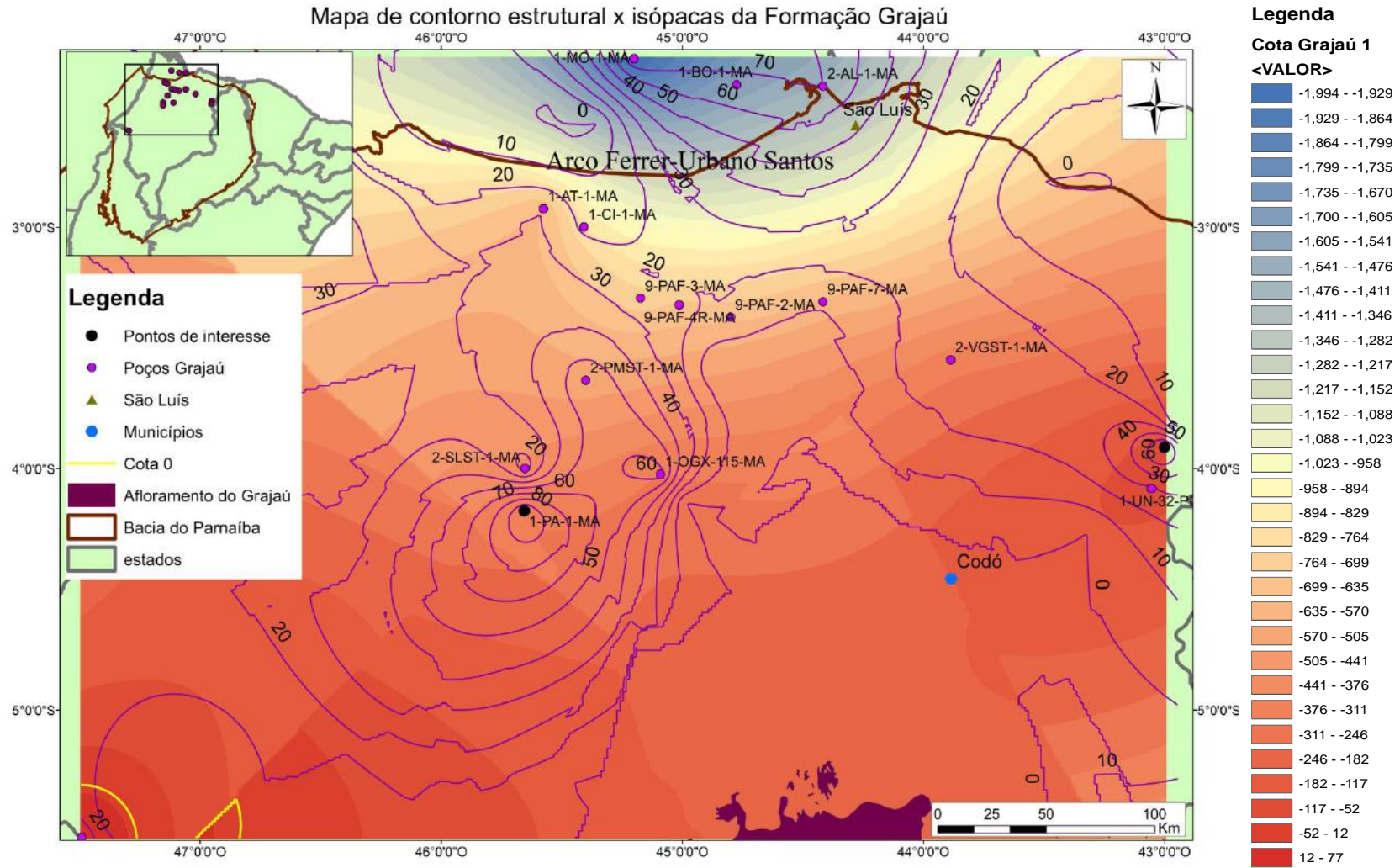


Figura 9 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da Formação Grajaú estão representadas pela escala de cores, as curvas de nível representando as isópacas das espessuras dessa unidade, a linha amarela associada à cota 0 e a linha marrom indicando o limite da Bacia do Parnaíba. Os círculos pretos correspondem aos poços mencionados no texto.

5.3.4 Formação Corda

O mapa de contorno estrutural x isópacas gerado com base nos poços indica que a ocorrência da Formação Corda está concentrada na porção sul do mapa, próximo à área de afloramento. Apenas nos poços 2-BJST-1-MA e 2-BBST-1-MA ocorre novamente a unidade na porção nordeste do mapa. A escala de cores do mapa está associada à variação do horizonte estratigráfico (cota) do topo da Formação Corda, passando de 95 até -381 metros.

Ao analisar a distribuição dessa unidade no mapa nota-se que a maioria dos poços apresentam, para a Formação Corda, uma profundidade cada vez mais rasa (até 95 m) e mais espessa (até pouco mais de 120 metros) para a direção SW. Esse fenômeno pode ser interpretado como uma aproximação relativa da área fonte dos sedimentos da Formação Corda. Os afloramentos mapeados dessa formação atingem as cotas de -128 metros até 21 metros de acordo com o mapa criado.

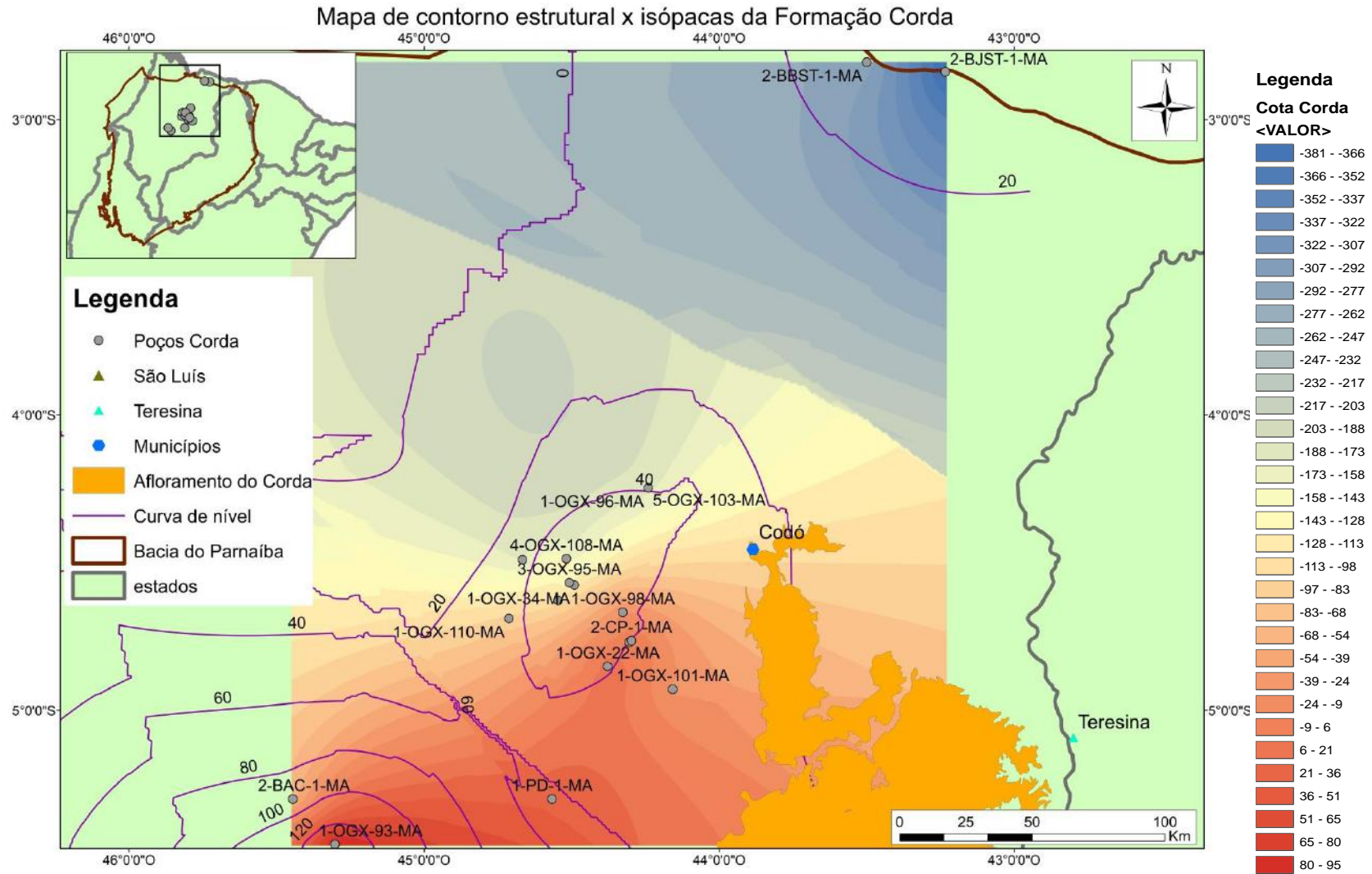


Figura 10 - Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da Formação Corda estão representadas pela escala de cores, as curvas de nível representando as isópacas das espessuras da unidade e a linha marrom indicando o limite da Bacia do Parnaíba.

5.3.5 Evaporito no intervalo Alagoas

Somente alguns poços solicitados para esse trabalho apresentam sal nos perfis litológicos, embora eles estejam bem distribuídos ao longo da área de estudo. A partir desses poços, foi possível gerar um mapa de contorno estrutural x isópacas desse horizonte estratigráfico que apresenta uma importância na caracterização da Formação Codó, principalmente (Figura 23). A variação do horizonte estratigráfico (cota) do topo do evaporito oscila de 58 à -768 metros no mapa representado pela escala de cores variando de vermelho (regiões mais altas) para azuis (regiões mais profundas). Com isso, é possível observar na Figura 23 o mergulho (*dip*) do topo dos evaporitos para NW.

Além disso, suas espessuras atingem até 16 metros na porção SE do mapa. Essa distribuição permite entender que nessa região a evaporação ocorreu de forma mais intensa, tendo em vista que o clima durante o Cretáceo na região era semi-árido a árido de acordo com Rossetti *et al.* (2001). Uma maior compartimentação nessa região também possibilita a presença de espessuras mais significantes de gipsita.

O horizonte do topo do evaporito se encontra mais profundo (de -716 à -768 metros) no bloco onde se encontra o poço 1-CI-1-MA que pode ser associado ao basculamento regional de todo o pacote na região NW do mapa. Não obstante, é possível observar que a ocorrência do sal é menos expressiva e está distante da porção SE que há maior concentração de gipsita e espessuras de até 16 metros. A partir disso, sugere-se que houve uma deposição isolada de gipsita na região SE no ambiente de sedimentação da Formação Codó.

A cota 0 do topo do sal é bem marcada pela linha amarela na região SE do mapa, contornada pelo poço 4-OGX-91D-MA.

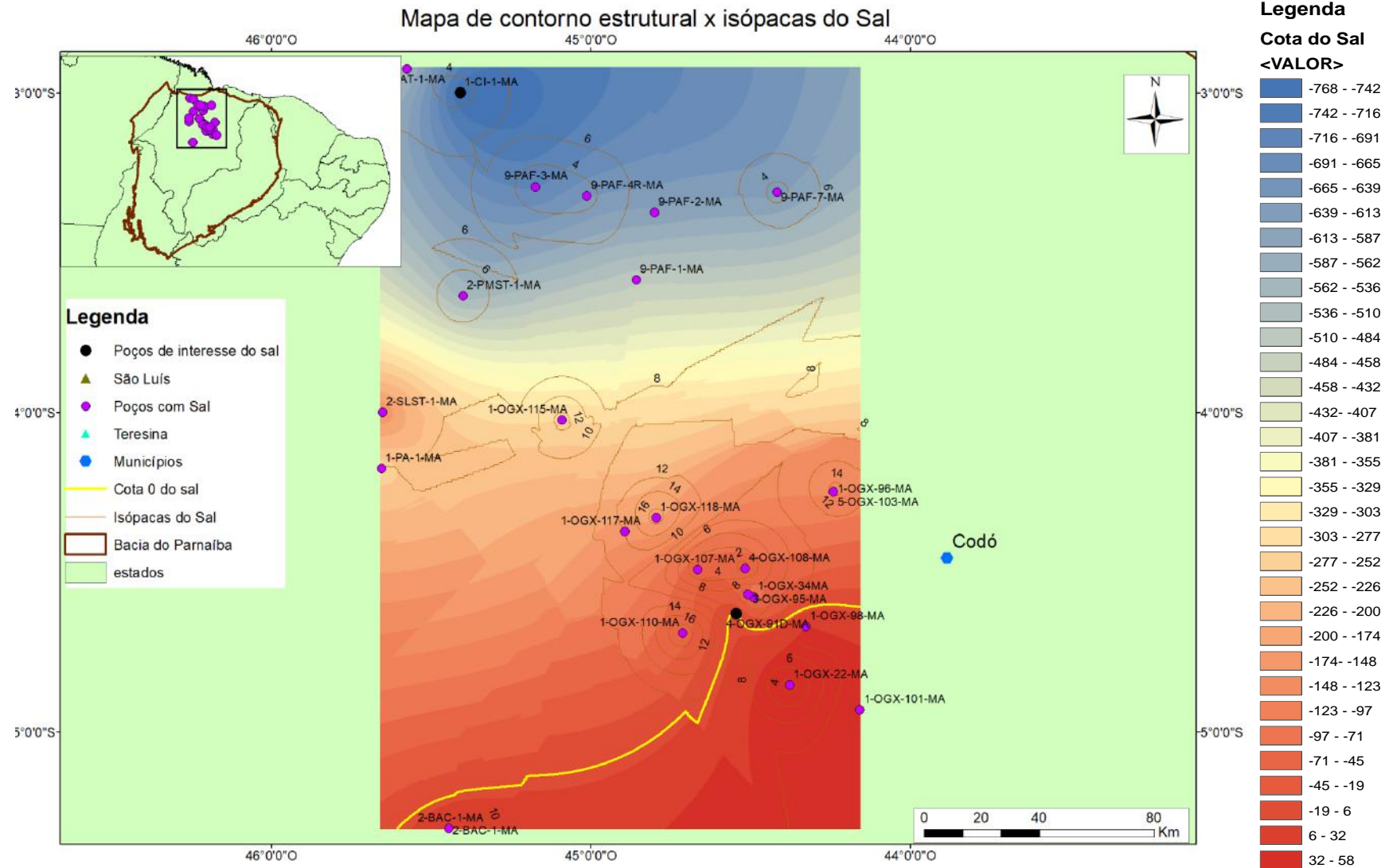


Figura 23- Mapa de contorno estrutural x isópacas, cujas cotas do topo da gipsita estão representadas pela escala de cores e as curvas de nível representando as isópacas das espessuras desse intervalo salino. Os círculos pretos correspondem aos poços mencionados no texto e a linha amarela representa a cota 0 do evaporito.

6. CONCLUSÃO

Com a definição dos eletro-horizontes A, B, C e D, assim como os eletro-intervalos AB, BC e CD pressupõe que as espessuras dos eletro-intervalos diminuem para SE graças a maior presença de corpos sedimentares com pouca matéria orgânica como arenitos e gipsita, proporcionando curvas menores no perfil de raio gama dentro do intervalo estratigráfico da Formação Codó. O mapa de contorno estrutural x isópacas do topo do evaporito também aponta para espessuras maiores de gipsita (pouco mais de 16 metros) na região SE da área de estudo. Essa concentração maior de evaporito sugere uma proximidade ao continente mais a SE da área de estudo no período de deposição.

Através da integração dos mapas, observa-se que as formações Corda e Grajaú apresentam distribuições distintas no mapa sendo a primeira com ocorrência na parte meridional da área estudada, e a segunda na porção setentrional do mapa. A Formação Codó apresenta de forma mais ampla em toda a área de estudo e sempre acima das formações Corda e Grajaú como visto na seção estratigráfica, nos mapas e no modelo 3D.

O mergulho (*dip*) das Formações Codó e da Formação Grajaú são condicionados ao basculamento pós-deposicional da Bacia de São Luís tornando essas unidades mais profundas à N-NW da Bacia do Parnaíba, acima do Arco Ferrer-Urbano Santos e mais altas à S-SE da área de estudo. A Formação Corda obedece ao esquema da Figura 7 e mostra uma aproximação relativa da área fonte dos sedimentos dessa unidade à SW da área de estudo.

Por fim, muitas dessas interpretações estão restritas à abundância de dados oriundos de poços, então disponibilizados pela ANP e pela bibliografia para cada formação,

portanto, principalmente para a Formação Grajaú e para a Formação Corda necessita-se de mais poços para uma interpretação geológica mais acurada, pois nem todos apresentavam dados para ambas as unidades.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G.A. Bacia do Maranhão: geologia e possibilidades de petróleo. Petrobras. Rel. Interno, Belém, v. 371, p.55, 1969.

AGUIAR, G.A. Revisão geológica da bacia paleozoica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. v.3, p.113-122.

ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B (Org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004 . p.43-58.

ANTONIOLI, L. **Estudo palino-cronoestratigráfico da Formação Codó-Cretáceo inferior do Nordeste Brasileiro**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ARAI, M.; HASHIMOTO, A.T. ; UESUGUI, N. 1989. Significado cronoestratigráfico da associação microflorística do Cretáceo Inferior do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 3 (1/2) : 87-103.

AZEVEDO, R. P. Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. 1991. 412f. Thesis (PhD in Geology) – Royal School of Mines, Imperial College, University of London, London.

BARROS, J.P.P. Caracterização dos esferulitos carbonáticos da Formação Codó (Aptiano, Bacia do Parnaíba), em afloramentos da Região de Codó (MA) . 2012. 157p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BASTOS, L. *et al.* Estratigrafia química aplicada à Formação Codó nos furos de sondagem UN-24-PI e UN-37-PI (Aptiano/Albiano da Bacia do Parnaíba). **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.22, p.289-312, 2014.

BDEP, 2019. Banco de dados de exploração e produção. Acesso aos dados técnicos. Disponível em :<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/dados-tecnicos/acesso-aos-dados-tecnicos> .

CAMPBELL, D.F.; ALMEIDA, L.A. de; SILVA, S de O. Relatório Preliminar Sobre a Geologia da Bacia do Maranhão. *Boletim do Conselho Nacional do Petróleo*, Rio de Janeiro, n.1, p.160, 1949.

CAMPOS, C.W.M. Estratigrafia da bacia paleozoica e cretácea do Maranhão, tradução e condensação do estudo especial preparado por Mesner, J.C. & Wooldridge, L.C. (1962). *Boletim técnico da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.7, n.2, p.137-164, 1964.

CAPUTO, M.V. & LIMA, E.C. Estratigrafia, Idade e Correlação do Grupo Serra Grande. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33°. 1984, Rio de Janeiro, Anais... Rio de Janeiro: SBG, 1984, v.2, p.740-752.

CAPUTO, M.V.; REIS, D.E.S.; BARATA, C.F.; PEREIRA, L.C. 2006. Evolução tectônica da Bacia do Parnaíba: qual a influência das orogenias? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 2006, Manaus. **Anais**. Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006. 1 CD-ROM.

CARNEIRO, M. V. Mapeamento estrutural da área de Grajaú-Imperatriz. Petrobrás, Relatório técnico 358, Belém, 45p. 1974.

CPRM, Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba, Relatório Final das etapas II e III, volume I. Diretoria da área de Pesquisas, Sureg/RE, 1975.

CUNHA, F.M.B. da; CARNEIRO, R.G. Interpretação fotográfica do centro-oeste da bacia do Maranhão. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26, Belém, Anais..., São Paulo, SBG, 1972,V.3, p.65-79, 1972.

FERNANDES, G & DELLA PIAZZA, H.D. O Potencial Oleogeonítico da Formação Codó. **Boletim Técnico da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.1, n.21, p.3-16, 1978.

FORTES, F.P. Geologia Estrutural e Tectônica da Bacia Sedimentar do Meio Norte Brasil (Uma síntese com implicações metalogenéticas). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, 1978, Recife, Anais... Recife: SBG, 1978. v.1, p.321-336.

GÓES, A. M. O., SOUZA J. M. P. & TEIXEIRA, L. B. Estágio exploratório e Perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p.55-64, 1990.

GÓES, A. M. O. & FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.8, n.8, p.57-67, 1994.

GÓES, A. M. & COIMBRA, A. M. 1996. Bacias sedimentares da Província Sedimentar do Meio Norte do Brasil. SÍMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Resumos. Belém: 186-187.

KLEMM, H. D. *Petroleum basins – classification and characteristics*. *J. Petr. Geol.*, v.3, n.2, p. 187-207, 1980.

LIMA, E.A.A. e LEITE, J.F. Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: Integração Geológica Metalogenética. **Relatório Final da Etapa III**. Recife, MME/DNPM/CPRM. V.1, 1978.

LIMA, M.R. & BOLTENHAGEM, E. – 1981 – Estudo Comparativo da Evolução das Microfloras Afro-Sul-Americanas. I-O Cretáceo Inferior. An. II Cong. Lat. Amer. Paleon., v.1 (331-342)

LIMA, M.R. Palinologia da formação Codó na região de Codó, Maranhão. In: **Boletim do Instituto de Geociências da-USP**, v.13, p.116-128, 1982.

LIMA, M.R. – 1983 – Paleoclimatic Reconstruction of the Brazilian Cretaceous Based on Playnological Data. Ver. Bras., Geoc., 13, 4 (223-228)

LINDOSO, R.M.; CARVALHO, I.S.; MENDES, I.D., *An Isopod from the Codó Formation (Aptian of the Parnaíba basin), Northeastern Brazil*. *Brazilian Journal of Geology*, 43 (1) :16-21, March 2013.

LISBOA, M.A.R. *The Permian geology of Northern Brazil*. *American Journal of Science*. New Haven, Ser. 4, v.37, n.221, 1914.

LOVATO, O.G.; CAYE, B.R.; ARAUJO, C.C. de; CAMOZZATTO, E.(Org.). Programa levantamentos geológicos Básicos do Brasil. Projeto especial mapas de recursos minerais. Folha Barra do Corda. SB 23-V-D, estado do Maranhão, escala 1:250.000, Brasília, CPRM, 75p anexos, 1994.

MESNER, J & WOOLRIDGE, L.C.P. – *Maranhão basin study revision*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEXPRO. DIVEX, 1962.

MENDES, M. S. & BORGHI, L. Análise faciológica da formação Codó (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. In: Congresso Brasileiro de P&D em Óleo e Gás, 3,2005, Salvador. Resumos ... Salvador : IBP, 2005. 1CD-ROM, 6p.

MENDES, M. da S. **Análise estratigráfica do intervalo formacional Grajaú-Codó (Aptiano) da bacia do Parnaíba, NE do Brasil**. 2007 . 214p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MIZUSAKI, A.M.P.; THOMAZ FILHO, A. O magmatismo pós-paleozóico no Brasil. P.281-291. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.R.; BRITO-NEVES, B.B. (Org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. P.281-291.

MOCITAIBA, L.S. *et al.*, Cartografia geofísica regional do magmatismo mesozóico na Bacia do Parnaíba. Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v.17, n.2, p. 169- 192, Junho 2017.

OJEDA, H.A.O. – 1982 – *Structural framework, stratigraphy and evolution of brazilian marginal basins*. *Am. Assoc. Pet. Geol.*, 66 (6): 732-749.

OLIVEIRA, D.C.; MOHNIK, W.U. Jaibaras Trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior *sag* Basin, Northeastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, Guildford, v.20, p. 351-383. 2003.

PAZ, J.D.S. e ROSSETTI, D.F. Reconstrução paleoambiental da Formação Codó (Aptiano), borda leste da bacia do Grajaú, M.A. In: D.F. Rossetti, A.M. Góes, W. Truckenbrodt (Eds.), **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer), Belém, p. 77-100, 2001.

PAZ, J.D.S. e ROSSETTI, D. F. Paleohydrology of na Upper Aptian lacustrine system from northeastern Brazil: Integration of facies and isotopic geochemistry. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology** . v.241, p. 247-266, 2006.

PETRI, S. & FULFARO V.J. Geologia do Brasil. São Paulo: USP, T.A. Queiroz, 1983. 631p.

PETRI, S., COIMBRA, A.M., AMARAL, G. e PONÇANO, W.L. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. Revista Brasileira de Geociências, v.16, p. 376-415, 1986.

REIS, D.E.S.; CAPUTO, M.V. Potencial Industrial e Energético do Folhelho Pirobetuminoso Formação Codó. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 4, 2007, Campinas, SP. **Resumos...** Campinas. 10p. 2005.

REGALI, M.S.P. – 1967 – Palinomorfos do poço 1-NST-1-ES, Bacia do Espírito Santo. Na. XXI Cong. Bras. Geol. (71-78). Curitiba.

REGALI, M.S.P., UESUGUI, N. & SANTOS, A.S. – 1974 – Palinologia dos sedimentos meso-cenozóicos do Brasil. Bol. Tec. Pet., v.17, n.3 (177-191) e n.4 (263-301).

REGALI, M. & VIANA, C. Sedimentos do Neojurássico-Eocretáceo do Brasil: Idades e correlação com a escala internacional. Serviço de Desenvolvimento de Recursos Humanos. Divisão de Tecnologia Educacional. Setor de Instrução e Didática. Rua da Assembléia, 100/18º andar. Ed: 1988.

RESENDE, W.M. de, PAMPLONA, H.R.P., (1970). Estudo do desenvolvimento do Arco Ferrer-Urbano Santos. B. Tec. Petrobrás. Rio de Janeiro, v.13. n ½, p. 5-14, jan/jun. 1970.

REZENDE, N.A. **A zona zeolítica da Formação Corda, Bacia do Parnaíba**, 2002. 155p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

RODRIGUES, R. **A Geoquímica Orgânica na Bacia do Parnaíba**. 1995. 225 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

ROSSETTI, D.F. e TRUCKENBRODT, W. *Facies analysis of the lower succession of the Upper Itapecuru Formation São Luís Basin, northern Brazil*. In: M. L.Costa; R. Angélica (Eds). **Contribuições à Geologia da Amazônia**, Belém, Falângola, p. 241- 284. 1997.

ROSSETTI, D.F. Evidências de atividade sísmica sinsedimentar em depósitos cretáceos da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (Eds.). **O Cretáceo na Bacia de São Luís–Grajaú**. Belém: mpeg Editoração, 2001. p. 47–66

ROSSETTI, D.F., GÓES, A.M. e ARAI, M. A passagem Aptiano-Albiano na Bacia do Grajaú, MA. In: D.F. Rossetti, A.M. Góes, W. Truckenbrodt (Eds.) **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Museu Paraense Emilio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer), Belém, p.101-118, 2001b.

ROSSETTI, D.F. Bacias Sedimentares Brasileiras Bacia do Parnaíba. **Fundação Paleontológica Phoenix**, Aracajú, n.58. 8p. 2003.

SCHALLER, H. – 1969 – Revisão estratigráfica da Bacia Sergipe/Alagoas, Bol. Tec. Pet., v. 12, n.1 (21-86).

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMU, H.E. DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília, 1981.1 mapa (em 4 partes). Escala 1:2.500.000.

SANTOS, H.S. ; CUNHA, G.N.; CASTRO, J.R./ Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana n.4 (2016) pp. 2-16

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. & FULFARO, V.J. *Tectonic cycles and sedimentar sequencies in the brasilian intracratonic basins*. *Geological Bulletin of the Society of America*, n.89, p. 181-191, 1978.

VALADÃO, R. M. **Caracterização Petrográfica e Evolução Diagenética de Arenitos das Formações Grajaú e Codó (Cretáceo da Bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem.** 2009. 49p. Dissertação (Bacharelado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VAZ, P.T. *et al.* Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, novembro/maio 2007.

VIANA, C.F., GAMA JUNIOR, E.G., SIMÕES, I.A., MOURA, J.A., FONSECA, J.R. & ALVES, R.J. – 1971 – Revisão Estratigráfica da Bacia Recôncavo/ Tucano. Bol. Tec. Pet., v.14, 3/4 (157-192).

VIANA, C.F. – 1980 – Cronoestratigrafia dos Sedimentos da Margem Continental Brasileira. Na. XXX Cong. Bras. Geol., v.2 (832-843), Camboriú, S.C.

VIANA, C.F. – 1986 – Evolução Paleoambiental Eocretácica nas Bacias Marginais do Brasil. An. XXXIV Cong. Bras. Geol., v.1 (1-7), Goiânia, Brasil.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo, Oficina de Textos. 215p.

YANG,C.S.; KAO, S.P.; LEE, F.B., HUNG P.S. Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study of Surfer 8.0. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing; 35° Congress, 2012.

ZALÁN, P.V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.R.; BRITO –NEVES, B. B. (Org.). **Geologia do continente sul-americano:** evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 595-612.

APÊNDICE A = Tabela dos horizontes estratigráficos do topo e da base das Formações Codó, Grajaú, Corda e do Intervalo salino

Tabela 1 – Tabela dos horizontes estratigráficos das unidades do Intervalo Alagoas e do Intervalo Salino

Nome do Poço	LONG	LAT	Topo da Fm.Codó	Base da Fm.Codó	Topo da Fm. Grajaú	Base da Fm. Grajaú	Topo da Fm. Corda	Base da Fm. Corda	Topo do Evaporito	Base do Evaporito
1-OGX-16-MA	-44.304	-4.7692	83	-4			-4	-39		
1-OGX-22-MA	-44.378	-4.8515	106	13			13	-31	53	50
1-OGX-34MA	-44.49	-4.576	25	-116			-116	-177	-87	-93
1-OGX-93-MA	-45.302	-5.4539	184	96			96	-77		
1-OGX-96-MA	-44.241	-4.2471	35	-178			-178	-218	-126	-140
1-OGX-98-MA	-44.327	-4.6682	60	-25			-25	-62	33	21
1-OGX-101-MA	-44.158	-4.9287	90	-26			-26	-52	57	45
1-OGX-110-MA	-44.712	-4.689	30	-93			-93	-124	-59	-77
1-OGX-115-MA	-45.091	-4.0226	-147	-309	-309	-373			-276	-289
1-OGX-118-MA	-44.796	-4.3282	-87	-243					-184	-201
2-IZST-1-MA	-47.491	-5.5274	91	63	63	49				
2-SLST-1-MA	-45.653	-3.9987	-300	-413	-413	-448			-149	-155
2-PMST-1-MA	-45.4	-3.6337	-394	-546	-546	-604			-548	-553
9-PAF-3-MA	-45.174	-3.2926	-587	-742	-742	-765			-695	-697
2-CGST-1-MA	-45.459	-2.6254	-1510	-1643						
2-VGST-1-MA	-43.887	-3.5489	-229	-344	-344	-374				
9-PAF-1-MA	-44.857	-3.5832	-415	-540					-493	-499
9-PAF-2-MA	-44.8	-3.3727	-523	-650	-650	-668			-608	-615
9-PAF-4R-MA	-45.013	-3.321	-545	-687	-687	-710			-642	-645
9-PAF-7-MA	-44.417	-3.3087	-535	-623	-623	-634			-622	-625
1-BO-1-MA	-44.775	-2.4087	-1535	-1591	-1591	-1658				
2-CGST-2-MA	-45.35	-2.567	-1135	-1229						
2-AL-1-MA	-44.417	-2.4154	-1360	-1465	-1465	-1535				
1-PD-1-MA	-44.567	-5.3004	144	32			32	-6		
1-CI-1-MA	-45.409	-2.9984	-671	-824	-824	-842			-769	-772
1-UN-24-PI	-43	-3.9107	-37	-115	-103	-168				
1-UN-32-PI	-43.055	-4.0823	-5	-104	-101	-129				
1-UN-25-PI	-42.947	-3.804	-74	-169						
1-UN-35-PI	-43.318	-4.264	-36	-121						
1-AT-1-MA	-45.576	-2.9228	-488	-635	-635	-665			-545	-549
1-IZ-2-MA	-47.351	-5.4507	113	85						
1-MO-1-MA	-45.2	-2.3004	-1974	-2084	-2084	-2108				
1-OGX-107-MA	-44.667	-4.4905	-35	-174			-174	-205	-50	-52
1-OGX-117-MA	-44.894	-4.3714	-57	-188					-158	-170
1-OGX-59-MA	-44.987	-4.1369	-72	-245						

Nome do Poço	LONG	LAT	Topo da Fm.Codó	Base da Fm.Codó	Topo da Fm. Grajaú	Base da Fm. Grajaú	Topo da Fm. Corda	Base da Fm. Corda	Topo do Evaporito	Base do evaporito
1-PA-1-MA	-45.656	-4.1743	-219	-314	-314	-405			-270	-278
1-RT-1-MA	-45.561	-2.4901	-2143	-2212						
2-ANP-5-MA	-45.914	-2.2455	-2414	-2575						
2-BAC-1-MA	-45.445	-5.3003	114	-61			-61	-130	-19	-22
2-BBST-1-MA	-43.5	-2.8054	-45	-291			-291	-316		
2-BJST-1-MA	-43.233	-2.838	-52	-382			-382	-424		
2-CP-1-MA	-44.297	-4.7642	76	1			1	-43		
3-OGX-95-MA	-44.508	-4.5677	2	-137			-137	-181	-66	-76
4-OGX-108B-MA	-44.518	-4.4868	-32	-170			-170	-205		
4-OGX-108A-MA	-44.518	-4.4868	20	-115						
4-OGX-108-MA	-44.518	-4.4869	18	-114			-114	-207	-54	-55
4-OGX-91D-MA	-44.546	-4.6282	14	-104			-104	-171	5	-2
5-OGX-103-MA	-44.241	-4.2471	29	-178			-178	-217	-134	-149

**APÊNDICE B = Tabela dos Intervalos Estratigráficos das Formações
Codó, Grajaú, Corda e do Intervalo salino**

Tabela 2 – Tabela dos intervalos estratigráficos das unidades do Intervalo Alagoas e do Intervalo Salino

Nome do Poço	Cota do Poço	Intervalo Codó	Intervalo Grajaú	Intervalo Corda	Intervalo Salino
1-OGX-16-MA	116	87		35	
1-OGX-22-MA	127	93		44	3
1-OGX-34MA	54	141		61	
1-OGX-93-MA	214	88		173	
1-OGX-96-MA	56	213		40	14
1-OGX-98-MA	158	85		37	12
1-OGX-101-MA	121	116		26	12
1-OGX-110-MA	93	123		31	18
1-OGX-115-MA	26	162	64		13
1-OGX-118-MA	36	156			17
2-IZST-1-MA	113	28	14		
2-SLST-1-MA	50	113	35		11
2-PMST-1-MA	35	197	58		5
9-PAF-3-MA	9	155	23		2
2-CGST-1-MA	27	133			
2-VGST-1-MA	35	115	30		
9-PAF-1-MA	4	125			6
9-PAF-2-MA	4	124	18		7
9-PAF-4R-MA	10	142	23		3
9-PAF-7-MA	21	88	11		3
1-BO-1-MA	12	56	67		
2-CGST-2-MA	51	94			
2-AL-1-MA	33	105	70		
1-PD-1-MA	142	112		38	
1-CI-1-MA	170	153	18		3
1-UN-24-PI	64	78	65		
1-UN-32-PI	66	99	28		

Nome do Poço	Cota do Poço	Intervalo Codó	Intervalo Grajaú	Intervalo Corda	Intervalo Salino
1-UN-25-PI	89	95			
1-UN-35-PI	50	85			
1-AT-1-MA	24	147	30		4
1-IZ-2-MA	142	28			
1-MO-1-MA	24	110	24		
1-OGX-107-MA	31	139		31	2
1-OGX-117-MA	40	131			12
1-OGX-59-MA	18	173			
1-PA-1-MA	93	95	91		8
1-RT-1-MA	12	69			
2-ANP-5-MA	45	161			
2-BAC-1-MA	211	175		69	3
2-BBST-1-MA	44	246		25	
2-BJST-1-MA	59	330		42	
2-CP-1-MA	106	75		44	
3-OGX-95-MA	52	139		44	10
4-OGX-108B-MA	50	138		35	
4-OGX-108A-MA	50	135			
4-OGX-108-MA	50	132		93	1
4-OGX-91D-MA	65	118		67	7
5-OGX-103-MA	50	207		39	15

**APÊNDICE C = Tabela das Profundidades do topo e da base das
Formações Codó e Grajaú**

Tabela 3 – Tabela das Profundidades do Topo e da Base da Formação Codó

Poço	De	Até	Formação	Poço	De	Até	Formação
1-OGX-16-MA	0	33	Acima do Codó	9-PAF-3-MA	0	602	Acima do Codó
1-OGX-16-MA	33	120	Codó	9-PAF-3-MA	602	757	Codó
1-OGX-22-MA	0	21	Acima do Codó	2-CGST-1-MA	0	1543	Acima do Codó
1-OGX-22-MA	21	114	Codó	2-CGST-1-MA	1543	1676	Codó
1-OGX-34MA	0	29	Acima do Codó	2-VGST-1-MA	0	270	Acima do Codó
1-OGX-34MA	29	170	Codó	2-VGST-1-MA	270	385	Codó
1-OGX-93-MA	0	30	Acima do Codó	9-PAF-1-MA	0	425	Acima do Codó
1-OGX-93-MA	30	118	Codó	9-PAF-1-MA	425	550	Codó
1-OGX-96-MA	0	21	Acima do Codó	9-PAF-2-MA	0	533	Acima do Codó
1-OGX-96-MA	21	234	Codó	9-PAF-2-MA	533	660	Codó
1-OGX-98-MA	0	98	Acima do Codó	9-PAF-4R-MA	0	555	Acima do Codó
1-OGX-98-MA	98	173	Codó	9-PAF-4R-MA	555	697	Codó
1-OGX-101-MA	0	31	Acima do Codó	9-PAF-7-MA	0	562	Acima do Codó
1-OGX-101-MA	31	147	Codó	9-PAF-7-MA	562	650	Codó
1-OGX-110-MA	0	63	Acima do Codó	1-BO-1-MA	0	1552	Acima do Codó
1-OGX-110-MA	63	186	Codó	1-BO-1-MA	1552	1608	Codó
1-OGX-115-MA	0	173	Acima do Codó	2-CGST-2-MA	0	1192	Acima do Codó
1-OGX-115-MA	173	335	Codó	2-CGST-2-MA	1192	1286	Codó
1-OGX-118-MA	0	123	Acima do Codó	2-AL-1-MA	0	1400	Acima do Codó
1-OGX-118-MA	123	279	Codó	2-AL-1-MA	1400	1505	Codó
2-IZST-1-MA	0	27	Acima do Codó	1-PD-1-MA	0	3	Acima do Codó
2-IZST-1-MA	27	45	Codó	1-PD-1-MA	3	115	Codó
2-SLST-1-MA	0	350	Acima do Codó	1-CI-1-MA	0	729	Acima do Codó
2-SLST-1-MA	350	483	Codó	1-CI-1-MA	729	882	Codó
2-PMST-1-MA	0	435	Acima do Codó	1-UN-24-PI	0	101	Acima do Codó
2-PMST-1-MA	435	587	Codó	1-UN-24-PI	101	179	Codó
				1-UN-32-PI	0	71	Acima do Codó
				1-UN-32-PI	71	170	Codó
				1-UN-25-PI	0	163	Acima do Codó
				1-UN-25-PI	163	258	Codó

Poço	De	Para	Formação
1-UN-35-PI	0	86	Acima do Codó
1-UN-35-PI	86	171	Codó
1-AT-1-MA	0	518	Acima do Codó
1-AT-1-MA	518	665	Codó
1-IZ-2-MA	0	35	Acima do Codó
1-IZ-2-MA	35	63	Codó
1-MO-1-MA	0	1998	Acima do Codó
1-MO-1-MA	1998	2108	Codó
1-OGX-107-MA	0	72	Acima do Codó
1-OGX-107-MA	72	211	Codó
1-OGX-117-MA	0	103	Acima do Codó
1-OGX-117-MA	103	234	Codó
1-OGX-59-MA	0	96	Acima do Codó
1-OGX-59-MA	96	269	Codó
1-PA-1-MA	0	318	Acima do Codó
1-PA-1-MA	318	413	Codó
1-RT-1-MA	0	2155	Acima do Codó
1-RT-1-MA	2155	2224	Codó
2-ANP-5-MA	0	2469	Acima do Codó
2-ANP-5-MA	2489	2630	Codó
2-BAC-1-MA	0	102	Acima do Codó
2-BAC-1-MA	102	277	Codó
2-BBST-1-MA	0	89	Acima do Codó
2-BBST-1-MA	89	335	Codó
2-BJST-1-MA	0	117	Acima do Codó
2-BJST-1-MA	117	447	Codó
2-CP-1-MA	0	35	Acima do Codó
2-CP-1-MA	35	110	Codó
3-OGX-95-MA	0	56	Acima do Codó
3-OGX-95-MA	56	195	Codó
4-OGX-108B-M	0	88	Acima do Codó
4-OGX-108B-M	88	226	Codó
4-OGX-108A-M	0	36	Acima do Codó
4-OGX-108A-M	36	171	Codó
4-OGX-108-MA	0	38	Acima do Codó
4-OGX-108-MA	38	170	Codó
4-OGX-91D-MA	0	57	Acima do Codó
4-OGX-91D-MA	57	175	Codó
5-OGX-103-MA	0	27	Acima do Codó
5-OGX-103-MA	27	234	Codó

Tabela 4 – Tabela das Profundidades do Topo e da Base da Formação Grajaú

Poço	De	Até	Formação
2-VGST-1-MA	0	385	Acima do Grajaú
2-VGST-1-MA	385	415	Grajaú
2-SLST-1-MA	0	483	Acima do Grajaú
2-SLST-1-MA	483	498	Grajaú
2-IZST-1-MA	0	42	Acima do Grajaú
2-IZST-1-MA	42	70	Grajaú
2-PMST-1-MA	0	587	Acima do Grajaú
2-PMST-1-MA	587	645	Grajaú
9-PAF-2-MA	0	660	Acima do Grajaú
9-PAF-2-MA	660	678	Grajaú
9-PAF-3-MA	0	757	Acima do Grajaú
9-PAF-3-MA	757	780	Grajaú
9-PAF-4R-MA	0	697	Acima do Grajaú
9-PAF-4R-MA	697	720	Grajaú
9-PAF-7-MA	0	650	Acima do Grajaú
9-PAF-7-MA	650	661	Grajaú
1-MO-1-MA	0	2030	Acima do Grajaú
1-MO-1-MA	2030	2108	Grajaú
1-BO-1-MA	0	1608	Acima do Grajaú
1-BO-1-MA	1608	1675	Grajaú
2-AL-1-MA	0	1505	Acima do Grajaú
2-AL-1-MA	1505	1575	Grajaú
1-PD-1-MA	0	85	Acima do Grajaú
1-PD-1-MA	85	153	Grajaú
1-UN-24-PI	0	167	Acima do Grajaú
1-UN-24-PI	167	232	Grajaú
1-UN-32-PI	0	167	Acima do Grajaú
1-UN-32-PI	167	195	Grajaú
1-OGX-115-MA	0	335	Acima do Grajaú
1-OGX-115-MA	335	399	Grajaú
1-PA-1-MA	0	413	Acima do Grajaú
1-PA-1-MA	413	504	Grajaú
1-AT-1-MA	0	665	Acima do Grajaú
1-AT-1-MA	665	695	Grajaú
1-CI-1-MA	0	882	Acima do Grajaú
1-CI-1-MA	882	900	Grajaú

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BDEP, 2019. Banco de dados de exploração e produção. Acesso aos dados técnicos. Disponível em : <http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/dados-tecnicos>

MENDES, M. S. & BORGHI, L. Análise faciológica da formação Codó (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. In: Congresso Brasileiro de P&D em Óleo e Gás, 3,2005, Salvador. Resumos ... Salvador : IBP, 2005. 1CD-ROM, 6p.

MENDES, M. da S. **Análise estratigráfica do intervalo formacional Grajaú-Codó (Aptiano) da bacia do Parnaíba, NE do Brasil.** 2007 . 214p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.